

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA**



Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**Escuela Técnica Superior de  
Ingenieros Agrónomos - Máster  
Universitario en Sistemas de  
Información Geográfica y  
Teledetección**



## **Giswater como herramienta para la modelización de la red de abastecimiento y saneamiento en la Mancomunidad de Mairaga**

Autor: Daniel Cabezas Puente

Dirección del TFM: Mikel Goñi Garatea

Curso 2019/2020

**Fecha:** Febrero de 2020



## **RESUMEN**

La línea temática principal de este Trabajo Fin de Máster está centrada en la puesta en valor de Giswater como complemento de un software SIG o Sistema de Información Geográfica y como una alternativa de herramienta libre aplicada a la gestión de las redes de abastecimiento y saneamiento. Este documento, a partir de la información ofrecida por la Mancomunidad de Mairaga durante las prácticas externas y un estudio de caso, tiene como objetivo mostrar el funcionamiento y estructura de la herramienta, así como sus capacidades para modelizar una red y crear cartografía temática a partir de los resultados del modelo, permitiendo realizar un análisis general. Primero se describe la labor de la Mancomunidad de Mairaga que gestiona el ciclo integral del agua. Además, se establece el área de estudio sobre la que se implementa la red. A continuación, se trata el estado actual sobre modelización de redes incluyendo una introducción sobre los programas con los que trabaja Giswater internamente. En el trabajo se establece una metodología que incluye las bases de la herramienta, el proceso de preparación de los datos pre-implementación, la estructura de los proyectos de abastecimiento y saneamiento y las funcionalidades complementarias de Giswater. El último apartado se dedica a la modelización y al análisis de los resultados. El análisis se divide en dos partes. La primera trabaja con datos de partida simples, un patrón de demanda para el abastecimiento y una serie temporal de precipitación de un día para el saneamiento. Por otro lado, la segunda parte aborda el tema del coste económico de la red y extiende el análisis del saneamiento con una serie de datos de tres años siendo más compleja, lo que permite ver los puntos fuertes y carencias de Giswater.

Palabras clave: Giswater, SIG, red, abastecimiento, saneamiento, modelización, análisis.

## **ABSTRACT**

The main thematic line about this Master Thesis is focused on the enhancement of Giswater as a complement to GIS software or Geographic Information Systems and as a free tool alternative applied to water supply and sanitation networks management. This document, based on the information offered by the Commonwealth of Mairaga during external practices and a case study, aims to show the functioning and structure of the tool, as well as its capabilities to model a network and create thematic mapping from the model results, allowing a general analysis. First, the work of the Commonwealth of Mairaga is described. In addition, the study area on which the network is implemented is established. The current network modeling status is discussed below, including an introduction to the programs Giswater works with internally. The document establishes a methodology that includes the tool basics, the data pre-implementation preparing process, the water supply and sanitation projects structure and de the complementary functionalities of Giswater. The last section is dedicated to modeling and analyzing the results. The analysis is divided into two parts. The first one works with simple starting data, a demand pattern for the water supply and a one-day rainfall timeseries for sanitation. On the other hand, the second part deals with the issue of the economic cost of the network and extends the analysis of sanitation with a three-year data timeseries, allowing to see the strengths and weaknesses of Giswater.

Keywords: Giswater, GIS, network, water supply, sanitation, modeling, analysis.

## ÍNDICE

<b>1. Introducción y objetivos .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Metodología.....</b>	<b>7</b>
2.1. El complemento de QGIS “Giswater”.....	7
2.2. Tipos de proyectos y corrección de errores en la información de partida.....	9
2.3. Proyecto de abastecimiento .....	11
2.4. Otras funcionalidades de Giswater: polígono de corte, mapa base y coste de la red ..	17
2.5. Proyecto de saneamiento .....	27
<b>3. Modelización y análisis del modelo.....</b>	<b>33</b>
3.1. Resultados de ejecución del modelo de abastecimiento.....	35
3.2. Resultados de la ejecución del saneamiento: serie temp. T8_10m .....	38
3.3. Resultados de la ejecución del saneamiento: serie 2012 – 2014.....	41
<b>4. Análisis del coste de la red.....</b>	<b>47</b>
<b>5. Conclusiones .....</b>	<b>49</b>
<b>6. Bibliografía .....</b>	<b>51</b>

## 1. Introducción y objetivos

Este TFM basa su contenido en las actividades realizadas en las prácticas externas del Máster en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección (MUSIGT). La empresa en la cual se han desarrollado las prácticas externas es la Mancomunidad de Mairaga. Con sede en Tafalla, la Mancomunidad de Mairaga es una entidad conformada por un total de 35 núcleos de población ubicados en la Zona Media de Navarra.

Esta entidad tiene como función principal la gestión del ciclo integral del agua, la protección del medio ambiente y el tratamiento de residuos sólidos urbanos. Además, busca promover el desarrollo comarcal y la mejora de las infraestructuras. Tal y como se explica en el sitio web oficial de la Mancomunidad, dentro de la sección del Ciclo Integral del Agua “el ciclo integral del agua contempla las actuaciones correspondientes a la captación, tratamiento, distribución, recolecta de excretas y depuración de las aguas residuales, necesarias para el suministro domiciliario de agua” (*Mairaga.es*, 2016)



*Figura 1 - Ciclo integral de agua*

Fuente: <https://mairaga.es/ciclo-integral-del-agua-uraren-ziklo-oso-integrala/>

Con esta gestión se busca devolver al medio natural el agua empleada en el abastecimiento a poblaciones, cumpliendo unas determinadas condiciones de calidad con el fin de minimizar, en la máxima medida de lo posible, el impacto ambiental.

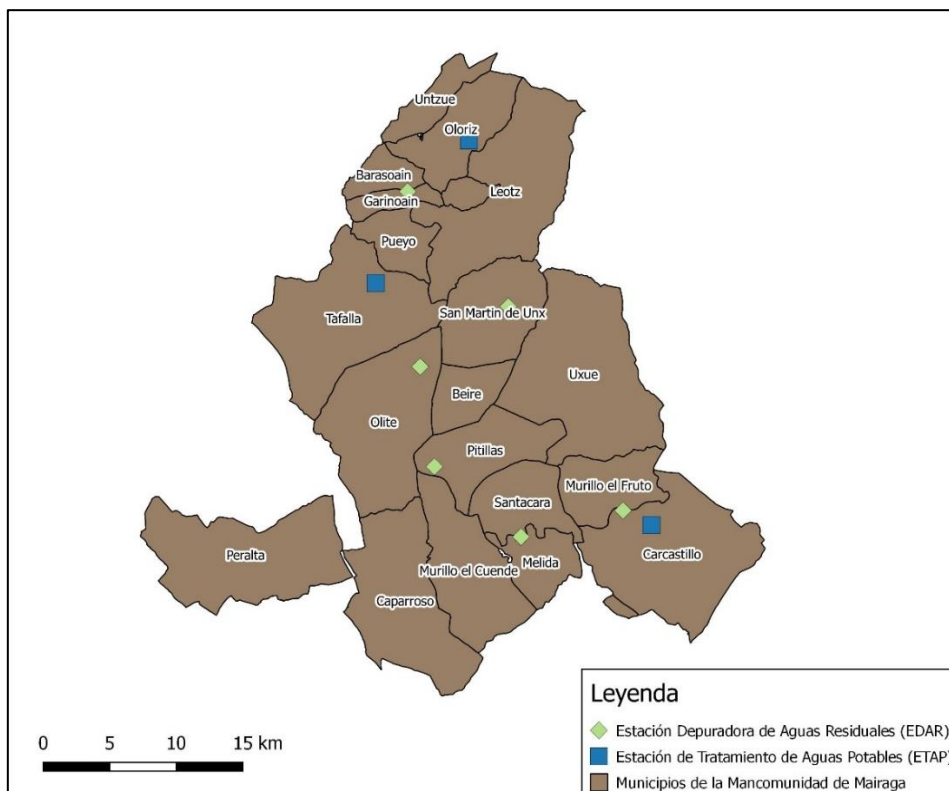
El suministro de agua proviene del embalse de Mairaga, situado en el municipio de Oloriz. También se dispone del pozo de “El Escal” y del caudal proveniente de la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona que complementa dicho suministro (canales de Navarra y Las Bardenas).

La normativa en materia de la gestión del ciclo integral del agua<sup>1</sup> orienta a que las conducciones del sistema de saneamiento sean separativas, es decir, que las aguas fecales

<sup>1</sup> Aprobación definitiva de la Ordenanza General Reguladora del Servicio de Abastecimiento, Saneamiento y Depuración del agua. Boletín Oficial de Navarra Número 147 de 4 de diciembre de 1996.

y pluviales fluyan por distintos conductos. Sin embargo, en el caso de la Mancomunidad de Mairaga el sistema es unitario, por lo que en una misma red de tuberías circulan tanto las aguas fecales como las aguas de lluvia (Boletín Oficial de Navarra, 1996).

Existen 3 plantas ETAP (Estación de Tratamiento de Agua Potable) y se ubican en Oloriz, Larrate (Carcastillo) y La Pedrera (Tafalla). En cuanto a las EDAR o Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales, existen 6, cuyos nombres hacen referencia a los núcleos de población donde actúan (Barasoain-Garinoain, San Martín de Unx, Tafalla-Olite, Beire-Pitillas, Santacara-Mélida y Carcastillo-Murillo el Fruto).



*Figura 2 - Localización de las ETAP y EDAR en la Mancomunidad de Mairaga*

Según la página web la Mancomunidad de Mairaga abastece de agua a las 35 poblaciones que la componen. Éstas pertenecen a la denominada Zona Media de Navarra. (Mairaga.es, 2016). Los datos más actualizados del padrón municipal de habitantes por municipios del Instituto Nacional de Estadística nos proporcionan el número de habitantes que disponen de estos servicios, que es de 31.896 (2018).

Respecto a la modelización, ésta viene integrada en el complemento de QGIS, Giswater, que emplea los softwares de modelización EPANET y EPA SWMM.

EPANET es un software orientado a analizar el comportamiento de los sistemas de distribución de agua y el monitoreo de la calidad del agua en los mismos. Integra los algoritmos de cálculo más avanzados en una interfaz potente y que facilita el trabajo al usuario. Su nombre proviene de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de EEUU (U.S Environmental Protection Agency – EPA).

Las capacidades de EPANET se pueden resumir en dos módulos, el de capacidades para la confección de Modelos Hidráulicos y el de capacidades para la confección de Modelos de Calidad del Agua. (Rossman, 2017)

Dentro del tema de este trabajo, solo se precisa del primer módulo dentro del cual se pueden destacar las siguientes funciones:

- Se puede procesar una red sin un límite de tamaño.
- Las pérdidas de carga se pueden calcular con las fórmulas de Hazen Williams, Darcy-Weisbach o Chezy-Manning.
- Se puede determinar consumo energético y costes.
- Considera válvulas de más de una tipología (corte, retención, reguladora de presión o caudal).
- Posibilita la consideración de tipos de demanda en los nudos, con una curva de modulación en el tiempo para cada uno.

En cuanto a EPA SWMM, cuyas siglas responden a *Stormwater Management Model* es un modelizador dinámico que permite simular precipitaciones en un momento determinado o durante un periodo de tiempo, teniendo en cuenta la calidad del agua vertida al medio. A partir de la generación de las cuencas de escorrentía, el módulo SWMM analiza el recorrido de las aguas por cada elemento de la red (tuberías, pozos, depósitos y reguladores) y devuelve información sobre el aporte, nivel, sobrecarga de agua en los nudos/pozos, la calidad de esta por conducto, los errores de continuidad, cargas contaminantes, etc. (US EPA; CDM, 2005)

El modelo hidrológico de SWMM tiene en cuenta una serie de procesos hidrológicos producidos en la salida de las aguas urbanas como son las precipitaciones variables, la evaporación de aguas estancadas, la entrada del agua de infiltración en acuíferos o la acumulación y deshielo de nieve, entre otros.

Al igual que sucede con EPANET, este modelizador dispone de una serie de herramientas que tienen la capacidad de abordar todo lo descrito anteriormente. De entre ellas destacan las siguientes:

- Manejo de redes de tamaño ilimitado.
- Modelar elementos de la red como unidades de almacenamiento y tratamiento (EDAR, ETAP), bombas, vertederos, orificios, etc.
- Modelizar distintos regímenes de flujo (carga, inverso, remanso, acumulación en superficie).

- Aplicación de controles dinámicos definidos por el usuario que simulen el funcionamiento de bombas, apertura de orificios, etc.

Como ya se mencionó, parte de las funcionalidades de EPANET y EPA SWMM están contenidas dentro de complemento “Giswater” de QGIS.

De entre todos los softwares de sistemas de información geográfica existentes se puede establecer una diferenciación entre aquellos que son software libre, es decir, los que permiten al usuario la libertad de ejecutar, copiar, modificar, distribuir y estudiar el producto, de los privativos, aquellos que restringen al usuario de realizar todo lo anterior y suelen requerir del pago de la licencia. ArcGis es un ejemplo de este último mientras que QGIS es un ejemplo de software libre y además, gratuito.

En el ámbito empresarial hay ciertos sectores que no se permiten costear las licencias de los softwares GIS privativos por lo que la tendencia a buscar alternativas gratuitas es creciente. Es ahí donde QGIS ha destacado ya que desde su lanzamiento se ha ido mejorado con cada versión. Del potencial de este programa sobresale la sección de complementos, que permiten extender las funciones de este.

Giswater se trata de una aplicación/complemento para QGIS en formato libre orientada a gestionar y explotar elementos de infraestructuras hidráulicas, más concretamente en el ámbito del abastecimiento y el saneamiento. La gestión se realiza tanto en base de datos como de forma gráfica, a través de las que se tiene acceso desde cualquier sistema de información geográfica (VV.AA., 2019)

La parte central del complemento es la base de datos, que almacena la información y gran parte de la funcionalidad del proyecto. El gestor de bases de datos que se utiliza es PostgreSQL que, mediante la extensión PostGIS permite trabajar con elementos espaciales (geometrías). QGIS se relaciona con la base de datos de PostGIS y con Giswater. Esta base de datos organiza los objetos espaciales y en ella se establecen ciertas reglas, relaciones (claves primarias y foráneas) y procesos que se deben cumplir.

Dentro de lo que respecta el marco teórico de este trabajo, o lo también conocido como el estado actual, se pueden encontrar numerosos trabajos que abordan la temática de la modelización de las redes de abastecimiento y saneamiento por medio de software libre como EPANET y EPA SWMM.

Existen otros programas que se utilizan en diversos estudios y en empresas como WaterCAD, MIKE urban, WaterGems, Aquis, KYPIPE, PIPE2014, HIDROFLO3, HIDRUVAL, NETIS, LOOP, etc. (R.Schmid, 2002; Sonaje y Joshi, 2015) Sin embargo, una gran parte de ellos son de pago. Está en la empresa el decidir, en base al presupuesto disponible, si utilizar un tipo de software u otro.

En varios artículos se definen las WDN (*Water Distribution Networks*) o Redes de Distribución de Agua Potable como una interconexión de tuberías, válvulas, tanques, bombas y otros elementos que suministran el líquido a los consumidores bajo determinadas condiciones hidráulicas, una complejidad operacional y un difícil control



ligado al crecimiento urbano y poblacional constante. Esto en cierto sentido obliga a las entidades competentes a planificar las expansiones de la red, su operabilidad y mantenimiento (Morelos y Hernández, 2017)

EPANET puede utilizarse para programar expansiones de la red, teniendo en cuenta la demanda de agua y su incremento esperado junto con el crecimiento urbano. Por lo tanto, se puede comprobar si una red actual de distribución de agua potable es eficiente. En caso de no serlo, facilita el trabajo de mejorar la red existente de forma apropiada (Adeniran y Oyelowo, 2013)

Hay trabajos en los que se muestra la capacidad del programa para monitorear en nivel de una determinada sustancia en el agua, como es el caso del cloro. En base a un modelo determinado que se incorpora en EPANET, es posible predecir la descomposición del cloro con el fin de probar que el programa es una herramienta valiosa para gestionar prácticas de desinfección en sistemas de distribución de agua potable (Rossman *et al.*, 1995).

Otros autores se centran más en otras temáticas como el cálculo del coste óptimo de la WDN, es decir, minimizar el coste del modelo, a través de determinados algoritmos que buscan obtener las mejores soluciones de diseño de la red (Geem, 2006).

Así mismo, hay otros artículos que abordan la temática de forma más genérica y descriptiva. Por ejemplo, hay un trabajo que trata el tema de la fiabilidad de los sistemas de distribución de agua. Proveer de fiabilidad a un WDN es complicado debido a varios factores como el comportamiento no lineal del sistema y sus consumidores. En ese artículo pone de manifiesto la tendencia creciente de comprobar la fiabilidad y la falta de metodología existente. En el artículo, el autor establece una comparación de dos algoritmos que evalúan la fiabilidad de los sistemas (Ostfeld, 2004).

## **Objetivos**

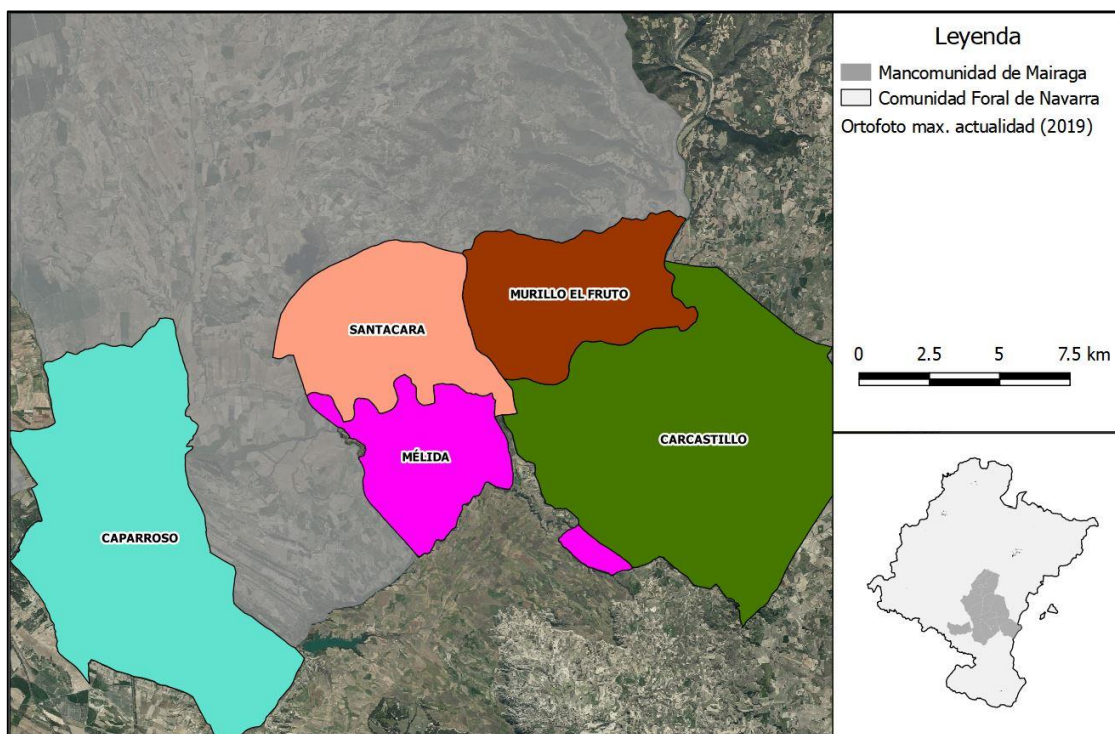
El objetivo principal del trabajo es implementar la red de abastecimiento y saneamiento adaptando la información disponible a la estructura lógica necesaria para que sea funcional. De esta forma, se cumple el objetivo paralelo de establecer un protocolo para hacer este trabajo en el resto de las localidades. A partir de este objetivo principal se derivan tres objetivos secundarios:

- Resaltar la utilidad de las funciones complementarias de Giswater, polígono de corte, mapa base y cálculo de coste dejando abierta la posibilidad de analizar el coste de los elementos de la red.
- Realizar el análisis de los resultados de la modelización del abastecimiento para los municipios de Murillo el Fruto y Santacara.

- Realizar un primer análisis de los resultados de la modelización del saneamiento para el municipio de Santacara con una serie de un día y un segundo análisis que comprende un periodo de tres años, desde el 2012 hasta el 2014.

## 2. Metodología

El área de estudio elegida en un inicio está compuesta por los municipios de Caparroso, Santacara, Mélida, Murillo el Fruto y Carcastillo que pertenecen a la Mancomunidad de Mairaga (Figura 3).



*Figura 3 - Municipios que conforman el área de estudio inicial*

Estos municipios se localizan en el valle del Aragón, que hace referencia al Río Aragón, uno de los afluentes del río Ebro que traza parte de su recorrido por la Comunidad Foral de Navarra. Suman conjuntamente una población de 7.429 y ocupan una superficie conjunta de 271,7 km<sup>2</sup>.

### 2.1. El complemento de QGIS “Giswater”

El entorno de trabajo del plug-in de QGIS agrega una cinta de herramientas y un entorno de trabajo que se visualiza tal y como viene en la Figura 4.



*Figura 4 - Cinta de herramientas de Giswater en QGIS*

Así mismo, Giswater cuenta con 2 proyectos de ejemplo, uno para la modelización del abastecimiento (*ws\_sample*) y otra para la modelización del saneamiento (*ud\_sample*).

Al abrir, por ejemplo, el de abastecimiento, se puede observar en el panel de capas la ToC (*Table of Content*) o tabla de contenidos característica de Giswater (Figura 5).

El módulo de abastecimiento cuenta con una simbología propia para cada elemento de esta. La simbología en Giswater se separa por un lado en simbología para arcos, que cubriría elementos como las tuberías (obsoletas, en funcionamiento y planificadas), los enlaces a bocas de riego y *links*. Por otro lado, está la simbología para nodos que permite representar entre otros los nodos de unión entre tramos de tuberías, las válvulas, los hidrantes, estaciones de bombeo, depósitos, bocas de riego, acometidas, fuentes, etc.

Para el saneamiento también hay una simbología determinada cuya estructura es similar a la del abastecimiento.

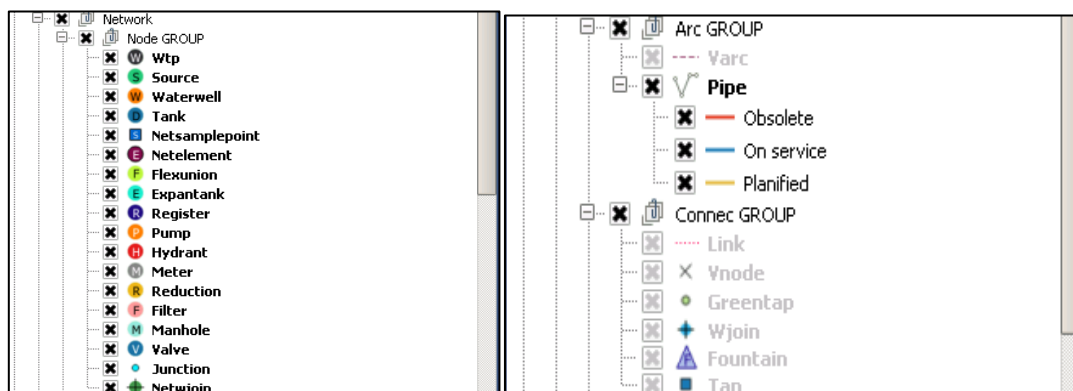


Figura 5 - ToC del proyecto de ejemplo del abastecimiento

Respecto a los elementos poligonales, en GisWater es importante definir lo que se conoce como zonas del mapa. Tal y como se define en el Manual de usuario de Giswater 3.0, “este grupo de capas representa y delimita las distintas zonas territoriales del mapa” (2018).

Dentro de las zonas del mapa la más relevante y por la que se comienza es la explotación. Luego estaría el Dma y el sector. El Dma (*district metring areas*), en el caso del abastecimiento, son áreas que contabilizan los usos del agua mientras que, en el caso del saneamiento (*district management áreas*), son áreas de gestión de la red.

La explotación se corresponde con el ámbito de gestión de uno o varios usuarios que es imprescindible para comenzar cualquier proyecto. La explotación es útil a la hora de delimitar los diferentes municipios de la Mancomunidad de Mairaga de forma que se puede realizar el trabajo por fases.

El sector se puede definir como el área que está estrechamente relacionada con el correcto funcionamiento del modelo hidráulico y tiene coherencia con las entradas y salidas de agua de este. Esto significa que un arco con su nodo final no puede traspasar la frontera marcada con el sector.

De entre las explotaciones creadas, si se desactiva una mediante el selector de explotación, desaparecen todos los elementos de su interior que contengan el identificador

de explotación en el campo de la tabla de atributos. De esta forma el usuario puede decidir aislar la información con la que quiere trabajar en ese momento.

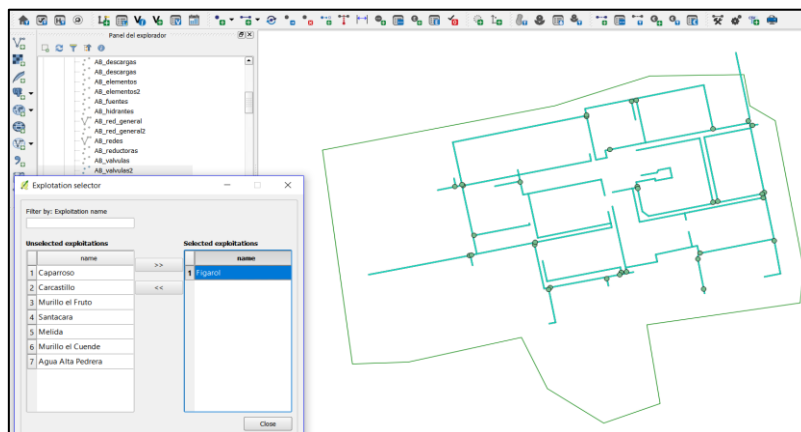
Pero, ante todo, en Giswater los catálogos son una de las principales características del complemento. Antes de empezar a trabajar en un proyecto se deben elaborar por lo menos los catálogos del arco y nodo pues permitirán introducir registros de forma semiautomática en las capas arco y nodo. La función de los catálogos es la de estandarizar la información catalogándola. Por ejemplo, se pueden especificar valores económicos para determinado tipo de tubería, o caracterizar propiedades de elementos como el material del que están hechas.

Los catálogos más comunes son el de material de nodos, material de arcos, nodos, arcos, acometidas, materiales de elemento, suelos, pavimentos, etc.

## **2.2. Tipos de proyectos y corrección de errores en la información de partida**

El trabajo ha sido realizado en dos proyectos diferentes de QGIS, siguiendo la estructura de Giswater. El primer proyecto es denominado “ws” de “*Water Supply*” y se centra en la red de abastecimiento de agua potable de los municipios del área de estudio mientras que el segundo proyecto se denomina “ud” de “*Urban Drainage*” y está centrado en la red de saneamiento.

Para ambos proyectos la información de partida fue ofrecida por la mancomunidad a través de Aqualia. Esta información se ofrece a través de formato *shape* o *cad* y al implementarla debe pasar un proceso de depuración para que funcione correctamente con Giswater y se puedan calcular costes, realizar tareas de mantenimiento de la red y la modelización a posteriori. Con la depuración se busca que se cumplan las reglas mínimas de topología que permiten el funcionamiento del complemento. Los elementos de la red pueden ser de tipo arco o de tipo nodo y la norma general que debe cumplirse es que no puede haber nodos ni arcos sueltos y cada arco debe acabar y empezar con un nodo.

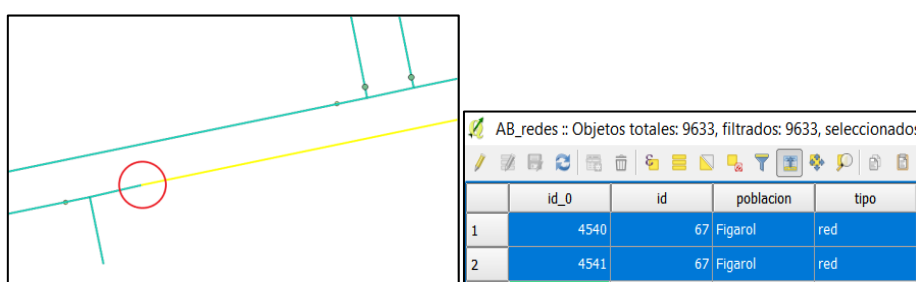


**Figura 6 - Información de partida para Figarol**

Poniendo el ejemplo de Figarol, se selecciona su explotación, para que se trabaje sólo con los elementos deseados. La información de partida es la que se muestra en la Figura 6 y será la que habrá que ajustar a las reglas de Giswater.

Para empezar, se comprueban errores de topología para los nodos (válvulas, hidrantes, etc.) y para los arcos que son en este caso las tuberías de abastecimiento. Esto se puede hacer de forma manual, utilizando la herramienta de “comprobador de topología” o mediante el subgrupo de herramientas “*edit*” dentro de “*Giswater toolbox*”. La información de partida ofrecida suele contener los siguientes errores:

- Nodos mal ubicados. Esto quiere decir que pueden ser nodos aislados en una ubicación errónea, o nodos que a simple vista parecen estar conectados con los arcos pero que al aumentar la escala realmente se encuentran inconexos. Este error es muy común y se soluciona activando el autoensamblado de capas en QGIS.
- Arcos separados cuando pertenecen al mismo tramo de tubería. Cuando en Giswater el tipo de tubería es el mismo en cuanto a su material de construcción y diámetro nominal, el identificador del tramo debe ser el mismo. De lo contrario debería haber una válvula, unión, hidrante o similar que explicase esa ruptura de arco. Por lo tanto, estos tramos deben ser unidos si no hay un elemento tipo nodo que los rompa (Figura 7)
- *Junctions* que coinciden con bocas de riego. Las bocas de riego solo se abren en determinadas ocasiones por lo que la empresa no las considera como puntos de consumo. Las bocas de riego se consideran links o conexiones que no deben romper tramos por lo que, en aquellos lugares donde se elimine el *junction* coincidente con la boca de riego los tramos se han de combinar en uno solo mediante la herramienta de Qgis de “Combinar”.



*Figura 7 - Error de topología en arco e identificador*

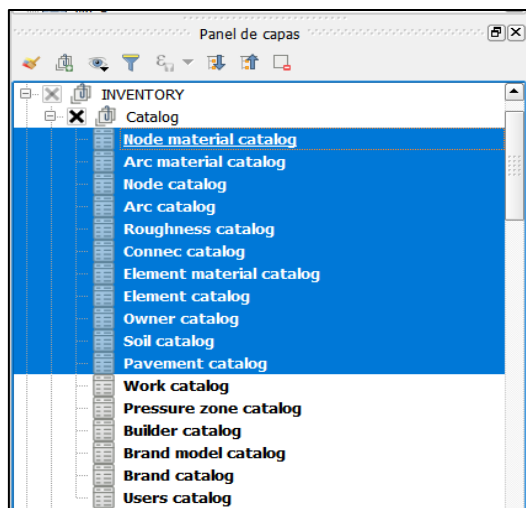
De esta forma se depuran los datos de entrada. Sin embargo, para implementarlos se debe seguir el modelo base de Giswater. Esto quiere decir que, para que se guarde cada elemento en el Node GROUP, Arc GROUP y Connec GROUP de la ToC deben ajustarse a sus respectivas tablas de atributos y cumplir con el tipo de carácter del campo o columna (*integer*, *float*, *string*, *varchar*, etc.), ya que se está trabajando directamente sobre la base de datos PostgreSQL.

Esto conlleva a que, si se desea copiar y pegar la información de una tabla a otra hay que igualar la estructura de esta a la del elemento en Giswater. Hay tablas que requieren de rellenar todos los campos por cada fila mientras que otras tienen campos cuyo valor puede ser nulo, al ser opcional o complementario. Por esta razón es recomendable que cuando se trabaje con cierta cantidad de datos se adapte su tabla de atributos y se utilice la opción “Copiar/Pegar objetos espaciales”.

### **2.3. Proyecto de abastecimiento**

El proyecto de abastecimiento incluye una serie de elementos cuyos atributos siguen la estructura de sus respectivos catálogos.

Cada elemento (tubería, válvula, hidrante, unión...) tiene un identificador referente a su fila de clase en el catálogo. Para cada elemento que se implemente a la red debe especificarse el tipo al que hace referencia en su catálogo correspondiente. En este caso al contar con tuberías, arcos y nodos y al ser el proyecto de abastecimiento, se incluyen los catálogos de la Figura 8.



*Figura 8 - Catálogos para el proyecto de abastecimiento*

Los catálogos que vienen seleccionados en la Figura 8 son los que contienen información necesaria y obligatoria mientras que el resto son menos importantes y contienen información sobre marca del producto, marca del modelo o el usuario que ha creado los catálogos entre otros. Alguno de ellos puede ir vacío y no afecta a la posterior modelización.

Dentro de los catálogos importantes destacan los catálogos de nodo, arco, material de nodos, material de arcos, rugosidad, conexión, suelo y pavimento.

Los catálogos siempre muestran todos sus registros independientemente de la explotación seleccionada. En el catálogo de nodos tenemos un id en siglas y una descripción del material de estos. En todos los municipios del área de estudio, en cuanto al material



(Figura 9), los nodos de la red de abastecimiento pueden estar fabricados en PVC, cemento, fundición, fibrocemento o polietileno (baja y alta densidad).

	id	descript	link
1	PVC	PVC	c:\usersuserscatalog.pdf
2	N/I	Desconocido	
3	FD	Fundicion	c:\usersuserscatalog.pdf
4	CC	Cemento	c:\usersuserscatalog.pdf
5	FC-FC-FC	Fibrocemento	c:\usersuserscatalog.pdf
6	FC	Fibrocemento	c:\usersuserscatalog.pdf
7	PE-BD	Polietileno baja densidad	
8	PE-AD	Polietileno alta densidad	

*Figura 9 - Material de fabricación de los nodos (abastecimiento)*

El campo *link* es opcional y complementario y su utilidad es la de abrir el pdf especificado en la dirección al consultar el nodo de la red para que se muestre la información complementaria de su clase.

Del mismo modo tenemos el catálogo de material de arcos (Figura 10). Aunque estén presentes en la zona de estudio diferentes tipos de materiales de tubería, los más comunes son el PVC, hierro y polietileno. Hay una tendencia creciente a cambiar a PVC en la mancomunidad por su menor coste y rentabilidad.

	id	descript	link
1	PVC	PVC	c:\usersusers...
2	H	Hierro	
3	PB	Plomo	
4	N/I	Desconocido	
5	PE-AD	Polietileno alta densidad	c:\usersusers...
6	PE-BD	Polietileno baja densidad	c:\usersusers...
7	FD	FUNDICIÓN DÚCTIL	c:\usersusers...
8	FC	FIBROCEMENTO	c:\usersusers...
9	PE	POLIETILENO	
10	SD	(SIN DETERMINAR)	
11	AC	Acero	
12	AG	Acero Galvanizado	

*Figura 10 - Material de fabricación de arcos/tuberías (abastecimiento)*

*Node catalog* y *arc catalog* son los catálogos más importantes pues contienen por cada elemento arco/nodo de la red una tupla/fila de la tabla. Esta tabla establece relación con los demás catálogos a partir de las conocidas *foreign keys* o “claves foráneas” de SQL. Es en estos catálogos donde entra el factor clave de rellenado semiautomático que ayuda en gran manera a la implementación de la red suponiendo un ahorro de tiempo considerable.



**Figura 11 - Relaciones entre tablas en Giswater (abastecimiento)**

Respecto al campo “*cost*”, éste contiene los identificadores del coste del nodo pero la relación la establece con otro tipo de tabla que hace la función de catálogo solo que al no tratarse de una tabla de la red (network), se clasifica en una sección denominada “MASTERPLAN”, que es otra sección de Giswater que se desarrollará más adelante.

- Pnom: la presión nominal en atmósferas.
- Dnom: diámetros nominal en milímetros.
- Dint: diámetro interno.
- Dext: diámetro externo.
- z1: grosor del material de encamado. Distancia desde la solera hasta la parte inferior de la conducción.

- z2: grosor del material de protección. Distancia desde la parte superior del conducto hasta el relleno con material de la propia excavación.
- Bulk: ancho de la pared del conducto, considerando el mismo ancho de pared para todo el conducto.
- Width: Ancho máximo de la sección del conducto. El valor se suele corresponder con el resultado de aplicar la siguiente fórmula:  $\text{geom}2^2 + 2 * \text{bulk}$ .
- Area: area completa de la sección del conducto.
- Estimated\_depth: valores de profundidad. Si se deja este campo vacío, se utiliza para el cálculo del presupuesto.

Arc catalog :: Objetos totales: 66, filtrados: 66, seleccionados: 0

	id	arctype_id	matcat_id	pnom	dnom	dint	dext	descript	link
1	AC100-PN10	PIPE	AC	10 atm	100 mm	100.00000	100.00000	AC100-PN10	130
2	AC150-PN10	PIPE	AC	10 atm	150 mm	150.00000	150.00000	AC150-PN10	130
3	AG80-PN10	PIPE	AG	10 atm	80 mm	77.00000	80.00000	AG80-PN10	140
4	FC100-PN10	PIPE	FC	10 atm	100 mm	90.00000	100.00000	FC100-PN10	140
5	FC125-PN10	PIPE	FC	10 atm	125 mm	115.00000	125.00000	FC125-PN10	140
6	FC150-PN10	PIPE	FC	10 atm	150 mm	140.00000	150.00000	FC150-PN10	130
7	FC200-PN10	PIPE	FC	10 atm	200 mm	190.00000	200.00000	FC200-PN10	140
8	FC250-PN10	PIPE	FC	10 atm	250 mm	240.00000	250.00000	FC250-PN10	110
9	FC300-PN10	PIPE	FC	10 atm	300 mm	290.00000	300.00000	FC300-PN10	110
10	FC50-PN10	PIPE	FC	10 atm	50 mm	46.00000	50.00000	FC50-PN10	140
11	FC60-PN10	PIPE	FC	10 atm	60 mm	56.00000	60.00000	FC60-PN10	140
12	FC65-PN10	PIPE	FC	10 atm	65 mm	60.00000	65.00000	FC65-PN10	140
13	FC80-PN10	PIPE	FC	10 atm	80 mm	72.00000	80.00000	FC80-PN10	140
14	FD100-PN10	PIPE	FD	10 atm	100 mm	100.00000	100.00000	FD100-PN10	130
15	FD100-PN25	PIPE	FD	25 atm	100 mm	100.00000	120.00000	FD100-PN25	
16	FD110-PN10	PIPE	FD	10 atm	100 mm	105.00000	110.00000	FD110-PN10	130
17	FD118-PN10	PIPE	FD	10 atm	118 mm	118.00000	125.00000	FD118-PN10	130
18	FD120-PN10	PIPE	FD	10 atm	120 mm	120.00000	120.00000	FD120-PN10	130
19	FD125-PN10	PIPE	FD	10 atm	125 mm	125.00000	125.00000	FD125-PN10	130
20	FD150-PN10	PIPE	FD	10 atm	150 mm	150.00000	150.00000	FD150-PN10	130

Figura 12 - Catálogo de arcos (abastecimiento)

La última tabla del catálogo a resaltar sería la de las acometidas, llamada “*connect catalog*” y sirve para clasificar todos los tipos de conexiones que aparecen en un proyecto de saneamiento. En este caso las únicas conexiones con las que se trabaja son los arcos teóricos para las acometidas y las bocas de riego.


Conec catalog :: Objetos totales: 6, filtrados: 6, seleccionados: 0

	id	connectype_id	matcat_id	pnom	dnom	dint	dext	descript	link	brand	model	svg	cost_ut	cost_ml	cost_m3	active	label
1	PE-BD25	WJOIN	PE-BD	10 atm	25	18.00000	25.00000						N_WATER-CONNECT	A_PVC25_PN10	S_EXC		
2	PE-BD32	WJOIN	PE-BD	10 atm	32	23.20000	32.00000						N_WATER-CONNECT	A_PVC32_PN10	S_EXC		
3	PE-BD50	WJOIN	PE-BD	10 atm	50	36.20000	50.00000						N_WATER-CONNECT	A_PVC50_PN10	S_EXC		
4	PE-BD63	WJOIN	PE-BD	10 atm	63	45.80000	63.00000						N_WATER-CONNECT	A_PVC63_PN10	S_EXC		
5	PE-AD63	FOUNTAIN	PE-AD	10 atm	63	51.40000	63.00000						N_WATER-CONNECT	A_PVC63_PN10	S_EXC		
6	PE-AD50	GREENTAP	PE-AD	10 atm	50	51.40000	50.00000						N_WATER-CONNECT	A_PVC50_PN10	S_EXC		

Figura 13 - Catálogo de conexiones (abastecimiento)

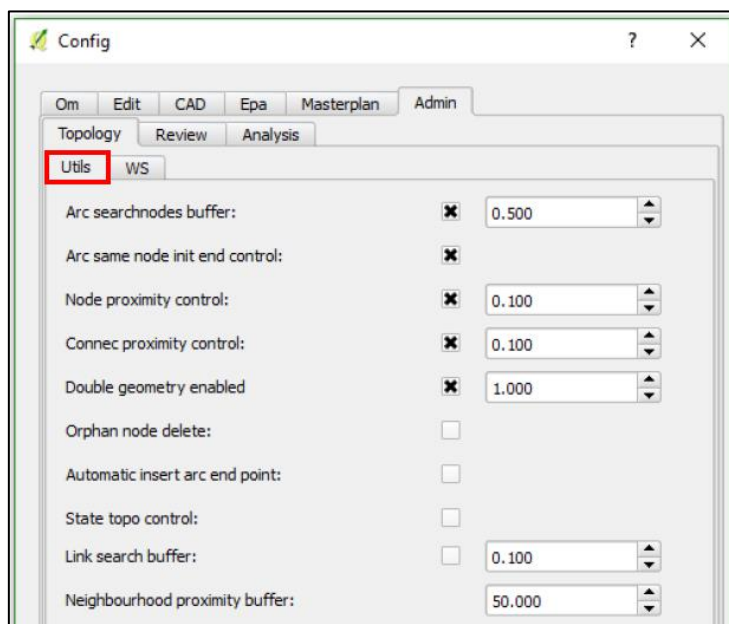
Como se aprecia en la Figura 13, éstas tienen su id, su campo de tipo de conexión relacionado con la tabla interna de la red, el material y el coste. También se puede especificar la presión nominal, los diámetros internos y externos y el coste.

<sup>2</sup> El valor expresado en metros de la dimensión horizontal interior del elemento.

Cuando se terminan los catálogos la configuración  de Giswater facilita el trabajo de implementación de la red ofreciendo una serie de opciones que se muestran en la Figura 14.

En esta herramienta se determinan las distancias de las reglas de topología a la hora de digitalizar manualmente nuevos elementos o añadir objetos espaciales. De esta forma, al implementar objetos espaciales como por ejemplo nodos sobre una red de arcos existente, estas reglas de distancia determinan la distancia máxima a la que debe estar el nodo del arco para que se corten.

Las demás pestañas permiten añadir valores por defecto que permiten al usuario determinar los valores con los que se rellenarán ciertos campos de las tablas. Estos valores deben ser del mismo tipo que el campo de la tabla (*string*, *varchar*, *numeric*, etc.)



*Figura 14 - Configuración en Giswater*

Para que el modelizador de EPANET funcione correctamente es necesario ciertos nodos de nuestra red contengan un campo con la altura a la que se encuentran. En este caso se añadirá la información de la altura a los hidrantes, válvulas, depósitos y uniones. Para obtener información de la altura se puede descargar un MDE (Modelo Digital del Terreno) desde el Centro de Descargas del CNIG (IGN), desde IDENA u otra infraestructura de datos espacial similar.

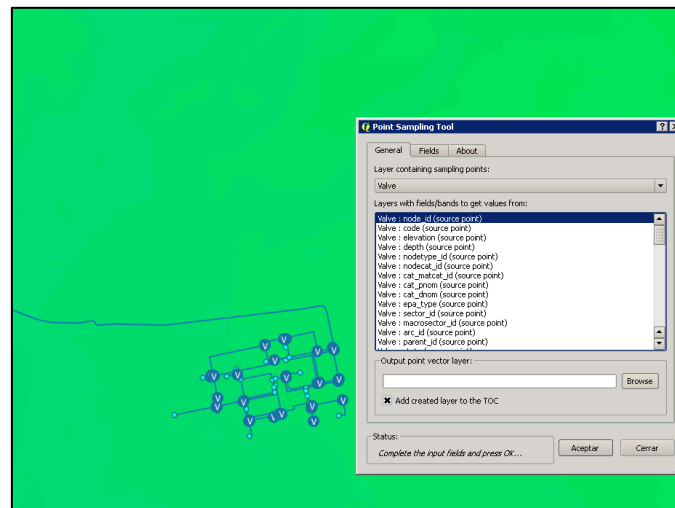
Se ha descargado del CNIG el MDE que abarca el área en la que se ubica el concejo de Carcastillo, Figarol, en la zona de estudio. Es el MDT05 del PNOA, la hoja 0207, con un sistema de coordenadas de referencia ETRS89 UTM30 Norte (25830).

Para un número pequeño de elementos se puede utilizar la herramienta de extracción de información, como en el caso de los hidrantes y el depósito, pues en Figarol solamente

cuentan con 3 hidrantes y un depósito. En el caso de las válvulas y los *junction* se precisará de una herramienta de QGIS denominada “*Point Sampling Tool*”.

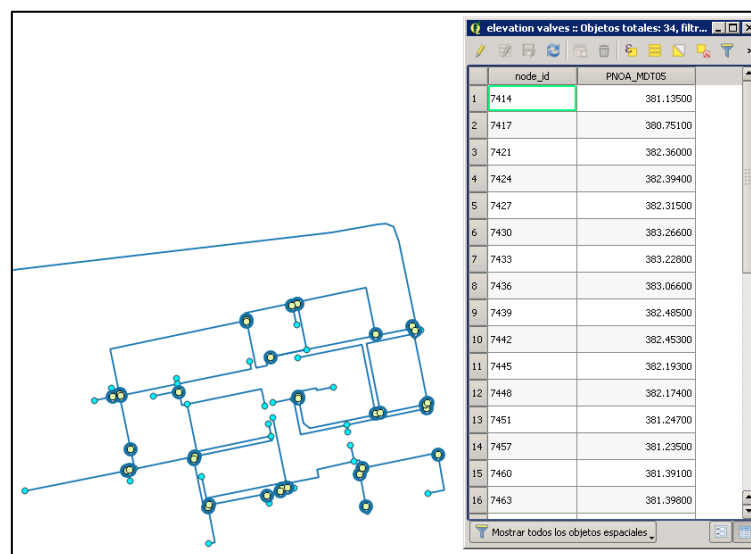
Este complemento nos permitirá obtener la altura de cada elemento de una capa vectorial, a partir de una capa ráster. Se tomará como ejemplo el caso de las válvulas, ya que para los *junction* o uniones el procedimiento es el mismo.

Se elige, como la capa que contiene los puntos de muestreo la capa de las válvulas y como capa adicional el “PNOA\_MDT05\_ETRS89\_HU30\_0207\_LID”. De la capa de válvulas se seleccionará el campo “*node\_id*” que contiene los identificadores de cada válvula.



*Figura 15 - Obtención del valor de alturas con MDT (Ejemplo Figarol)*

El fichero de salida contendrá el campo de elevación y un campo de identificador con el mismo nombre. Gracias a esto, es posible hacer una unión posterior a la tabla de atributos de “*Valve*” de Giswater.



*Figura 16 - Ids de los nodos lista para unión*

Se selecciona como campo de unión “*node\_id*” de la tabla “*elevation valves*” que conectará con el otro “*node\_id*” de la tabla “*Valves*” y se elige el campo de la altura como campo que se unirá.

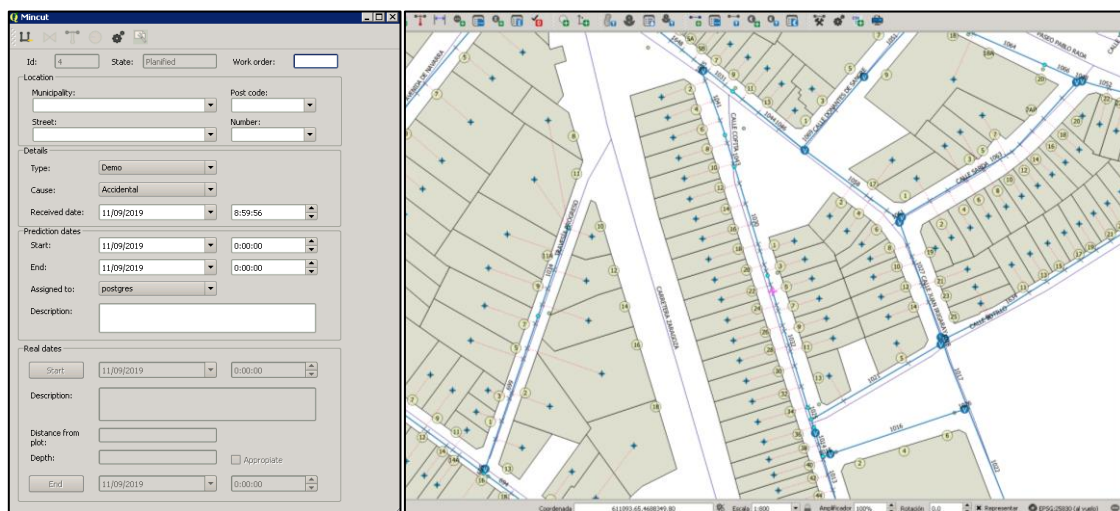
Como no se precisa mantener esta relación entre tablas se actualiza un campo existente de “*elevation*” en la tabla “*Valves*” que estaba vacío, con el campo de elevación unido. Esto se realiza a través de la “Calculadora de campos” seleccionando las opciones que se muestran en la figura XX:

Una vez se tienen los valores de elevación en el campo correspondiente ya se puede eliminar la unión anterior.

## **2.4. Otras funcionalidades de Giswater: polígono de corte, mapa base y coste de la red**

Giswater tiene una sección de operaciones y mantenimiento (O&M) que cuenta un grupo de capas más reducido, siendo 2 o 3 dependiendo de si se trabaja en el proyecto de abastecimiento o saneamiento.

Como su nombre indica, esta sección se encarga del mantenimiento de la red una vez está implementada, así como de las operaciones que lo permiten. De esta sección es de interés la función del polígono de corte (*mincut*). La utilidad de esta herramienta es que el usuario, en el momento que necesite llevar a cabo una operación en la red, como modificar un elemento (cambiar tipo de tubería, añadir una válvula, etc.), puede ver que válvulas deben cerrarse y cómo afecta esto a la red.



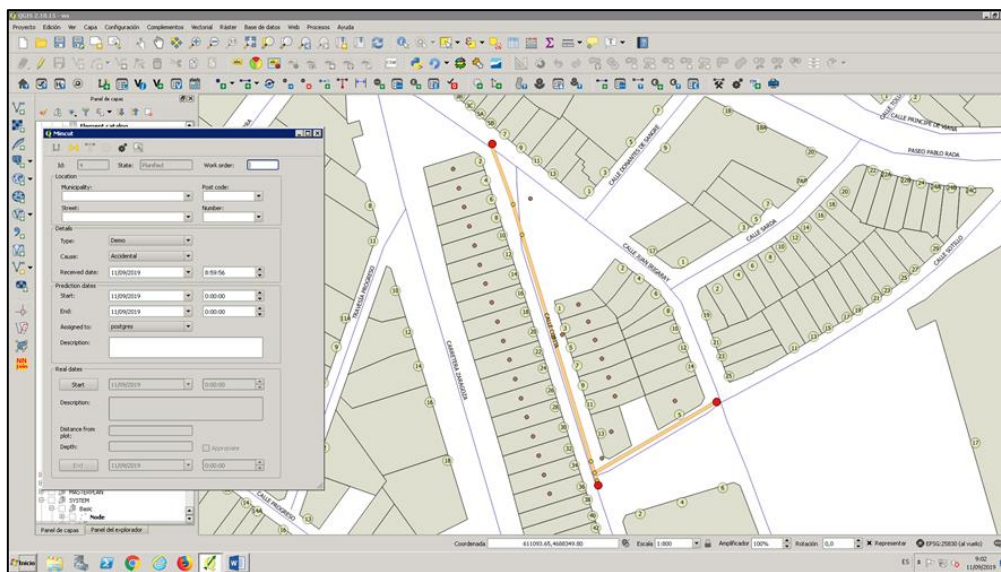
*Figura 17 - Herramienta de polígono de corte y su tabla*

Esta herramienta necesita obligatoriamente dos campos de las tablas de la red con información dentro, el estado (*state*) y la explotación de la zona que contenga los elementos que se observan en pantalla. Es decir, si se quiere utilizar la herramienta para cerrar válvulas en Figarol, se debe tener la explotación de Figarol activa.



Cuando se utiliza la herramienta, aparece una cruz rosa, como se puede ver en la Figura 14 en la parte derecha, y una tabla a la izquierda. En la tabla se puede especificar la localización, el código postal, la calle y el número (cuya implementación en Giswater se desarrolla más adelante). Además, se puede especificar el tipo de intervención y la causa, así como la fecha esperada de inicio y fin de las obras.

En la siguiente imagen (Figura 18) se puede apreciar la respuesta al corte en las tuberías de la herramienta. La tubería queda resaltada en amarillo y las válvulas que han de cerrarse quedan resaltadas en rojo.



*Figura 18 - Respuesta de la herramienta al corte seleccionado*

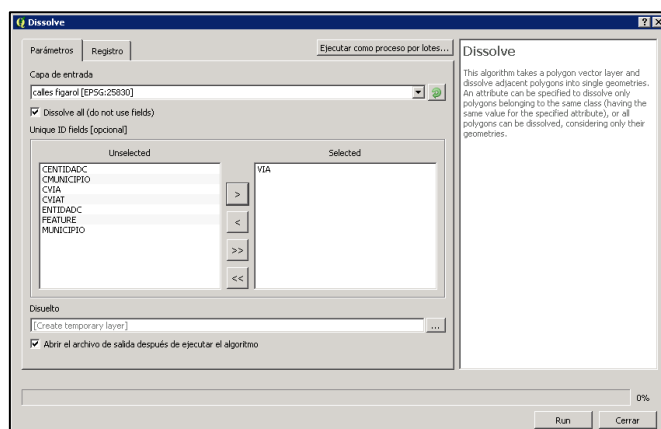
Gracias a esta herramienta se pueden elaborar mapas de reporte de incidencias o reparaciones necesarias en la red para enviárselos a los operarios y que actúen lo más rápido posible.

A la hora de que se produzcan incidencias en un sistema tanto de saneamiento como de abastecimiento es preciso actuar con rapidez, por ello, viene bien localizar el punto del problema de manera instantánea. Giswater ofrece otra funcionalidad que consiste en un buscador que te permite encontrar la calle, dirección o portal donde se ha producido la incidencia siempre que la información esté disponible en las tablas. Sin embargo, esta información debe ser implementada en el grupo de capas “BASE MAP”.

La mejor forma de encontrar información es buscando en los recursos disponibles del Catastro de Navarra. Para ello se accede a la sección de descarga de capas en la web del servicio de Riqueza Territorial de Navarra <sup>3</sup> (mayo, 2019). Se busca cada municipio de la zona de estudio y se extrae la información de las calles, parcelas urbanas y ejes. Para el caso de Figarol, al ser un núcleo perteneciente a “Carcastillo” se separa la parte de Figarol en otro grupo de capas, seleccionándolas y guardándolas en QGIS.

<sup>3</sup> Sección de descargas de la web, disponible en: <https://catastro.navarra.es/descargas/>

Se deben realizar algunos cambios antes de implementar los registros con el mismo nombre de calle con la herramienta “*dissolve*” en la ruta “Vectorial/Herramientas de geoproceto/*Dissolve*”. Se necesita un registro por cada calle.

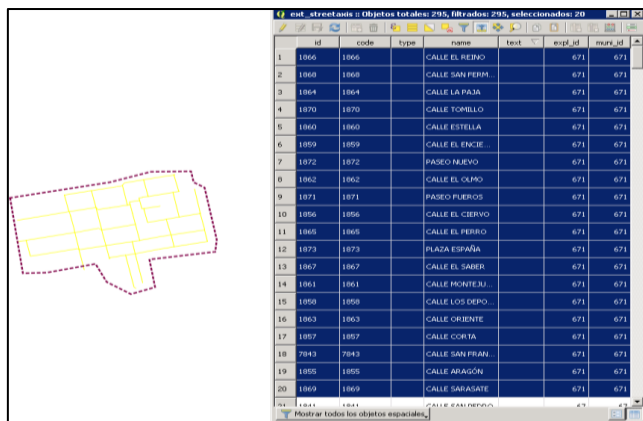


*Figura 19 - Dissolve por nombre de calle (CVIA)*

La capa de entrada es la descargada de ejes de calle. En el área de selección se selecciona el campo por el que queremos unir los registros (nombre de la calle), quedando solamente un registro por cada calle. Una vez preparada la capa anterior se debe copiar/pegar en la capa “*ext\_streetaxis*” (que es una tabla de la base de datos) ya sea incluyendo esa capa en el (TOC: tabla de contenidos ) versiones iniciales, o venga ya preparada para incluirlas en la vista “*streetaxis*” de manera que en la capa anterior vengán denominados los campos del nombre de calle y código de vía como se denominan en *ext\_streetaxis* (name, code). El campo id se rellena con el *code* y los de explotación y municipio con los correspondientes.

Al pegar hay que hacer concordancia entre campos por lo que se emplea la calculadora de campos:

- Rellenar el id coincidiendo con el *code*.
- Rellenar campos actualizándolos (id de la explotación e id del municipio que en este caso son 671 ambos)



*Figura 20 - Calles implementadas en Figarol*

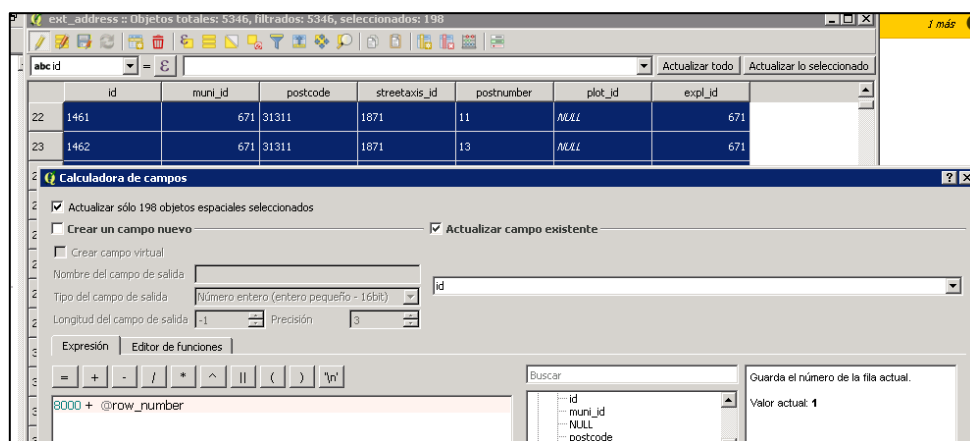
Después se debe rellenar la capa de direcciones, “*Address*”, de forma que a partir de las capas descargadas de riqueza territorial se elija la capa “*CATAST\_Txt\_Portal*” renombrando los campos PORTAL y CVIA (portal y código de vía) por “*postnumber*” y “*streetaxis\_id*” podemos utilizar copiar/pegar para que mantengan los registros de dichos campos. Después se rellena el resto.

Se debe tener cuidado al almacenar la nueva capa en la que se renombran los campos en postgres (importando el archivo *shape* en la base de datos y marcando como clave primaria el id), ya que en “*shp*” no admite más de diez caracteres en el nombre del campo y no archivaría “*streetaxis\_id*” por ser de 13 caracteres.

Se puede dar un problema a la hora de pegar los datos y es que puede que un “id” exista. Como el id es clave primaria en la base de datos, no puede haber claves repetidas, por lo que mediante la calculadora de campos se puede establecer un nuevo id de partida para el primer registro con el margen que sea necesario respecto al id más alto y un conteo a partir del mismo.

$$8000 + @row\_number$$

Así obtenemos una serie de id diferentes y válidos. Para ello se escribe en el recuadro de la calculadora de campos, lo mostrado en la figura XX:



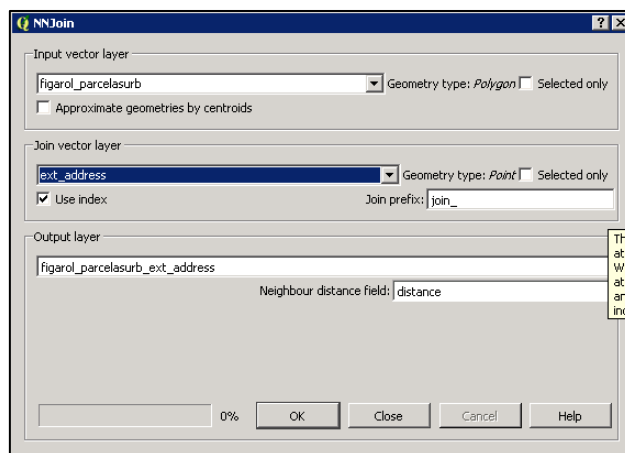
*Figura 21 - Ajuste de ids mediante calculadora de campos*

Por último, para completar la capa “*Plot*” donde se incluyen los polígonos correspondientes a las parcelas urbanas se debe cargar de las capas del catastro la correspondiente a polígonos de parcelas urbanas. Después de eso, guardarla en la base de datos postgres para que se puedan modificar los campos con más de diez caracteres.

Para que cada parcela urbana se corresponda con una calle y un número, se procede a eliminar las parcelas que no tienen próximo un número (*Address*). Posteriormente mediante un geoproceto de proximidad con la herramienta descargable “*NNjoin*” (Figura 22) se adicionan a las parcelas urbanas los números de calle y portales de la capa *Address*. Después, los campos correspondientes a *streetaxis\_id* y *postnumber* de la capa *Address* añadida se cambian de nombre para quitarles el *joint* que adiciona la herramienta al nombre del campo.



Una vez que los nombres de los campos del número de calle y portal tienen el mismo que la capa “Plot”, mediante “copiar y pegar objetos espaciales” se incluyen las parcelas en la capa “Plot” de la base de datos (*ext\_plot* en postgres). Los números de las calles y portal deben estar completos, y el resto de los datos se completan con la herramienta de Qgis.



*Figura 22 - Herramienta NNjoin*

Para añadir las acometidas a la zona de estudio, no se requiere de información externa ya que se crean a partir de la capa de parcelas urbanas, a partir de los centroides de estas. Lo que, si se debe incluir dentro de la tabla de acometidas, es la información del número de portal y la letra, en dos campos separados (*postnumber* y *postcomplement*).

Esta información viene unida en un solo campo por defecto por lo que se debe utilizar algunas herramientas de la calculadora de campos para separar la numeración de la letra. Para ello se debe tener en cuenta los diferentes casos que se tienen en *postnumber*, cuántos tipo de letras diferentes hay y la longitud del registro.

10A → será de longitud 3

4B → será de longitud 2

Dependiendo de la longitud de los campos y se aplica una regla de selección en la tabla mediante selección por expresión. El siguiente ejemplo es una selección para los campos que tengan longitud de 3 e incluyan las letras de la A a la D:

`length("postnumber") = 3 and "postnumber" LIKE '%A%' or length("postnumber") = 3 and "postnumber" LIKE '%B%' or length("postnumber") = 3 and "postnumber" LIKE '%C%' or length("postnumber") = 3 and "postnumber" LIKE '%D%'`

Una vez se han seleccionado los campos sobre los que actuar se separan las letras al campo objetivo de la tabla. El campo creado deberá ser de tipo cadena de texto (*string*) para poder realizar el corte.

Marcando la opción actualizar solo los elementos seleccionados, se debe utilizar la expresión `right("postnumber",1)`. Donde "1" es la posición empezando por la derecha. La letra del *postnumber* siempre va a estar en la derecha. Una vez hecho esto se consigue rellenar parte del campo de letras (*postcomplement*). Sin embargo, en el campo *postnumber* siguen presentes las letras por lo que se deben eliminar. Como se buscan los mismos registros de la tabla con la misma longitud, se mantiene la selección realizada anteriormente.

Luego se usa la expresión de la calculadora de campos para quedarse solo con el número, por lo que ahora se cuenta desde la izquierda, y se actualiza el campo existente. La expresión es `left("postnumber",2)` donde el "2" son el número de posiciones que se cuentan desde la izquierda. Como el ejemplo es para longitudes de 3, en el caso de 10A se quedaría el 10 como resultado.

Otra funcionalidad de Giswater es la de calcular el coste de las tuberías de la red, algo bastante útil para una empresa a la hora de hacer el presupuesto. Esto se puede llevar a cabo a través del grupo de capas y tablas denominado "MASTERPLAN". Con esta funcionalidad se pueden realizar de forma sencilla valorizaciones de la red de agua y sistematizar el proceso de forma que, a partir del rellenado de ciertos datos para el cálculo, se calcule automáticamente un presupuesto.

El funcionamiento de esta herramienta es igual tanto para los proyectos de abastecimiento como los de saneamiento. Se utilizan tablas de distinto tipo y relacionadas entre sí para asignar precios a los elementos de la red, materiales, etc. Las tablas principales para rellenar se muestran a continuación:

- Simple Price: muestra los precios simples para cada elemento. Contiene un campo *unit* que hace referencia a la manera de calcular el precio (unitario, metro, metro cúbico, etc.) (Figura 23).
- Compost Price: muestra los precios variables (Figura 24).
- Value compost Price: relaciona las dos tablas anteriores conteniendo en dos columnas sus id's. La relación de los campos *compost\_id* y *simple\_id* permitirá calcular los precios totales. (Figura 25).

En este caso de estudio la tabla de precio simple cuenta con 128 elementos y la tabla de precio variable con 343.

Simple price :: Objetos totales: 128, filtrados: 128, seleccionados: 0

	id	unit	descript	text	price	obs	pricecat_id
1	7227A00A	m2	7227A00A		2.5700		
2	A_FC100_PN10	m	FC100-PN10	Tuberia de fibroceme...	9.5050		cat_2018
3	A_FC125_PN10	m	FC125-PN10	Tuberia de fibroceme...	11.6250		cat_2018
4	A_FC150_PN10	m	FC150-PN10	Tuberia de fibroceme...	12.8950		cat_2018
5	A_FC200_PN10	m	FC200-PN10	Tuberia de fibroceme...	17.6950		cat_2018
6	A_FC250_PN10	m	FC250-PN10	Tuberia de fibroceme...	22.5650		cat_2018
7	A_FC300_PN10	m	FC300-PN10	Tuberia de fibroceme...	29.3450		cat_2018
8	A_FC50_PN10	m	FC50-PN10	Tuberia de fibroceme...	5.2750		cat_2018
9	A_FC60_PN10	m	FC60-PN10	Tuberia de fibroceme...	6.3300		cat_2018
10	A_FC65_PN10	m	FC65-PN10	Tuberia de fibroceme...	6.5350		cat_2018
11	A_FC80_PN10	m	FC80-PN10	Tuberia de fibroceme...	7.7050		cat_2018
12	A_FD100_PN10	m	FD100-PN10	Tuberia Standard de f...	19.0100		cat_2018
13	A_FD120_PN10	m	FD120-PN10	Tuberia Standard de f...	22.4000		cat_2018
14	A_FD125_PN10	m	FD125-PN10	Tuberia Standard de f...	23.2500		cat_2018
15	A_FD150_PN10	m	FD150-PN10	Tuberia Standard de f...	25.7900		cat_2018
16	A_FD200_PN10	m	FD200-PN10	Tuberia Standard de f...	35.3900		cat_2018
17	A_FD250_PN10	m	FD250-PN10	Tuberia Standard de f...	45.1300		cat_2018
18	A_FD300_PN10	m	FD300-PN10	Tuberia Standard de f...	58.6000		cat_2018

Mostrar todos los objetos espaciales

*Figura 23 - Tabla de precio simple*

A la hora de buscar los precios de los elementos de la red, se puede recurrir a diversas páginas, en especial para las tuberías, en las que viene la información estructurada a partir del material de construcción y el diámetro. Algunas de estas páginas son Urkoitik<sup>4</sup> y Generadordeprecios<sup>5</sup>. En ambas se pueden consultar los precios de las tuberías, aunque la segunda página es más exacta y se actualiza de forma regular.

<sup>4</sup> Página web de Urkoitik: <http://www.urkoitik.com/Familia/Detalle>

<sup>5</sup> Página web de Generadordeprecios: <http://www.generadordeprecios.info>

Compost price :: Objetos totales: 343, filtrados: 343, seleccionados: 0

	id	unit	descript	text	price
1	A_ANI_P132	m	Anillo pozo D=1,00m. ...	Conducto central de ac...	260.3300
2	A_ANI_P38	u	Anillo pozo h=0,50m ...	Ud. Anillo para pozo d...	246.7200
3	A_ANI_P39	u	Anillo pozo D=1,00m ...	Ud. Anillo para pozo d...	213.7700
4	A_ARQ_P14	u	Arqueta para infiltraci...	""Ud de arqueta para ...	1035.6600
5	A_ARQ_P35	u	Arqueta para ventosa	""Arqueta para registr...	693.3000
6	A_ARQ_P81	u	Arqueta de registro b...	Arqueta de registro de...	250.1600
7	A_ARQ_P822	u	Arqueta de registro d...	Arqueta de registro de...	686.2900
8	A_ARQ_P83	u	Arqueta de registro d...	Arqueta de registro de...	390.6600
9	A_ARQ_P84	u	Obra complementaria ...	Obra complementaria ...	406.6600
10	A_DES_P76	u	Aletas de desague	""Aletas de desague d...	289.4700
11	A_FC110_PN10	m	Polyethylene pipe, wit...	Polyethylene pipe ,desi...	0.0000
12	A_FC160_PN10	m	Polyethylene pipe, wit...	Polyethylene pipe ,desi...	0.0000
13	A_FC63_PN10	m	Polyethylene pipe, wit...	Polyethylene pipe ,desi...	0.0000
14	A_FD150	m	Iron pipe with nominal...	Iron pipe with nominal...	0.0000
15	A_FD200	m	Iron pipe with nominal...	Iron pipe with nominal...	0.0000
16	A_HIN_P18	m	Hinca en terreno de al...	Hinca bajo via ferrea o...	867.9000
17	A_HOR_P48	m3	Hormigon de HA-25/P...	Hormigon de HA-25/P/...	102.7500
18	A_INS_P49	u	Paso de conduccion b...	Paso de conduccion ba...	370.0000
19	A_INS_P50	m2	Muro de mamposteria...	Muro de mamposteria ...	99.1400
20	A_INS_P51	m	Entibacion H hasta 5m.	Entibacion metalica re...	28.5900
21	A_PEH110_PN16	m	Polyethylene pipe, wit...	Polyethylene pipe ,desi...	0.0000
22	A_PEL110_PN10	m	Polyethylene pipe, wit...	Polyethylene pipe ,desi...	0.0000
23	A_PVC110_PN16	m	PVC sewer pipe with ...	PVC sewer pipe with n...	0.0000
24	A_PVC160_PN16	m	PVC sewer pipe with ...	PVC sewer pipe with n...	0.0000
25	A_PVC200_PN16	m	PVC sewer pipe with ...	PVC sewer pipe with n...	0.0000

Mostrar todos los objetos espaciales

Figura 24 - Tabla de precio compuesto

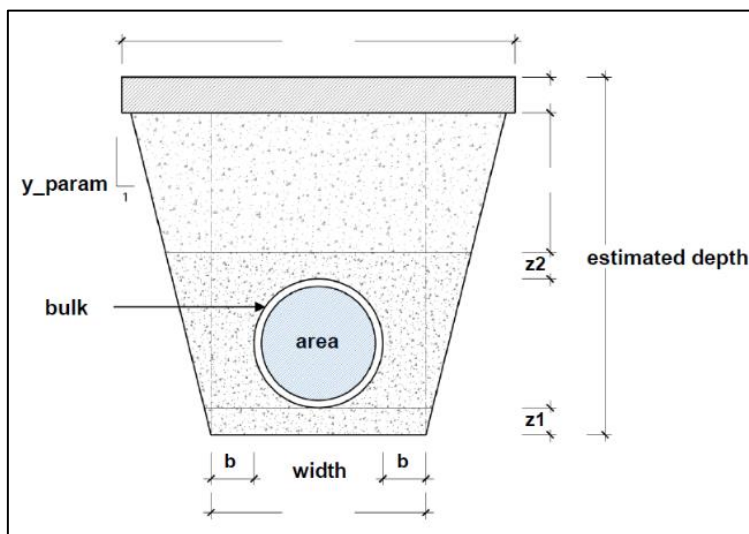
En la última tabla de “value compost Price” la columna “value” representa el porcentaje de elemento simple que compone el elemento compuesto para así poder calcular los precios totales.

Value compost price :: Objetos totales: 1, filtrados: 1, seleccionados: 0

	id	compost_id	simple_id	value
1	37	S_REP	F227A00A	1.0000

Figura 25 - Tabla value compost price

Una vez se ha rellenado la información con los costes principales se deben rellenar ciertos campos de la tabla para que se pueda ver posteriormente el coste de cada elemento de la red.



*Figura 26 - Sección transversal de una tubería y medidas*

Los campos para rellenar se encuentran en la tabla del catálogo de arcos (*cat\_arc*) y hacen referencia a diferentes medidas de la tubería la sección donde se ubica:

- Z1 (m)
- Z2 (m)
- Width (m) – La anchura total. Anchura + bulk\*2.
- Area (m<sup>2</sup>)
- Estimated\_depth o profundidad estimada (m).
- Bulk (en m para proyectos de saneamiento y en mm para proyectos de abastecimiento). Esta medida se corresponde con el grosor de la pared de la tubería.
- Cost\_unit – Unidades de medida.
- Cost – Precio del tipo de tubería.
- M2bottom\_cost – Precio del suelo.
- M3protect\_cost – Precio de protección.

Además de rellenar los campos que vienen en la tabla de arcos, para el cálculo del coste también es necesario rellenar dos campos del catálogo de pavimentos y siete campos del catálogo de suelos, pues están relacionados con la primera tabla:

Pavimentos (*cat\_pavement*):

- Thickness (m) – Grosor del pavimento.
- M2\_cost – Precio del metro cuadrado de pavimento.

Suelos (*cat\_soil*):

- Y\_param – Inclinación del talud de la zanja.
- B (m) – La distancia entre la tubería y el límite de la zanja.
- Trenchlining (%) – Porcentaje de la intivación del suelo.

- M3exc\_cost – Precio de excavación.
- M3fill\_cost – Precio de relleno.
- M3escsess – Precio de transporte de excesos.
- M2tenchl\_cost – Precio de intivación.

De esta forma al seleccionar ahora cualquier arco de la red en el formulario de Giswater se muestran los precios totales:

Description	Unit price	Meas.	Total (€/m)
Element:	24.390	m	1.00
Bottom:	2.57	€/m³	0.490
Protection:	17.50	€/m³	0.163
Excav.:	1.89	€/m³	0.699
Filling:	3.51	€/m³	0.530
Excess:	0.00	€/m³	0.169
Trenchl.:	30.00	€/m³	0.000
Total of pavements related to the arc:			19.614
Length:	116.98	Unitary cost:	51.30
Other budget (connec & other):		Budget:	6001.07
		Total budget:	6001.07

Measurements

Exploitation: \* Santacara Dma: \* Santacara Pressure zone: Verified: State: \* ON SERVICE State type: \* ON SERVICE

☒ Inventory ☐ Undelete ☒ Publish

Aceptar Cancelar

Figura 27 - Formulario de elemento de la red: costes

Tanto la preparación de los costes como el mapa son procesos que aportan información complementaria para la red, pero que no son necesarios para realizar la modelización.

El último paso por realizar para completar la modelización del abastecimiento es la elaboración de un patrón (*pattern*). Estos son escenarios teóricos de demanda sobre los elementos de consumo, en este caso los nodos de la red (*junction*). Por lo general la relación entre el punto de consumo y el valor de la demanda es 1:1. A través de la tabla “*inp\_demand*” se puede aplicar una demanda alternativa a la principal del nodo de consumo, así como cambiar el patrón de la demanda.

Para el caso del abastecimiento, se han modelizado 2 de los municipios del área de estudio, Murillo el Fruto y Santacara, aplicando el mismo patrón en cada uno. El patrón de consumo debe ir especificado en la tabla “*Pattern*”. Como se ve en la Figura 28, el patrón de consumo viene dado por porcentajes y por unidad de tiempo. En Giswater se pueden agregar porcentajes de consumo por cada hora del día, que se corresponde con las columnas de la tabla con el prefijo “factor” y el número que representa la hora. Por lo tanto, son necesarias 24 columnas para modelizar el día.

Pattern :: Objetos totales: 1, filtrados: 1, seleccionados: 0

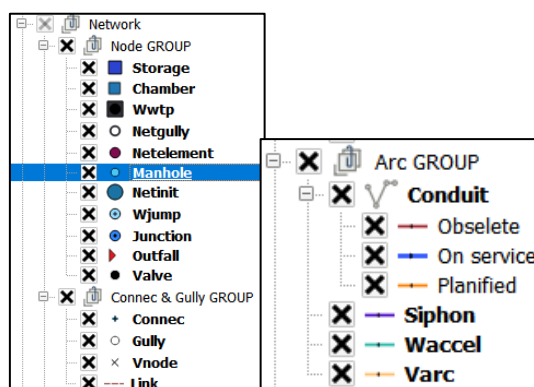
	id	pattern_id	factor_1	factor_2	factor_3	factor_4	factor_5	factor_6	factor_7	factor_8
1		1 Santacara	0.8500	0.8100	0.7200	0.7300	0.7500	0.8000	0.9800	1.1400

*Figura 28 - Pattern utilizado para el abastecimiento*

## 2.5. Proyecto de saneamiento

En el caso del saneamiento la metodología es similar a la del abastecimiento, pero con algunas diferencias.

Los elementos de la red cambian, ahora como nodos están el depósito, la cámara, la estación depuradora de aguas residuales, los pozos de registro (*manhole*) y la salida a medio, entre otros. Como conexiones, en el caso del abastecimiento, también existirán acometidas y, en este caso, en el grupo de arcos los elementos se definen como conductos, que pueden tener 3 tipos de estado. Estos conductos pueden estar obsoletos, en funcionamiento o planificados para funcionar en el futuro. Hay además otros tipos de conductos, pero no están presentes en el caso que se va a modelizar.



*Figura 29 - Elementos de la red de saneamiento*

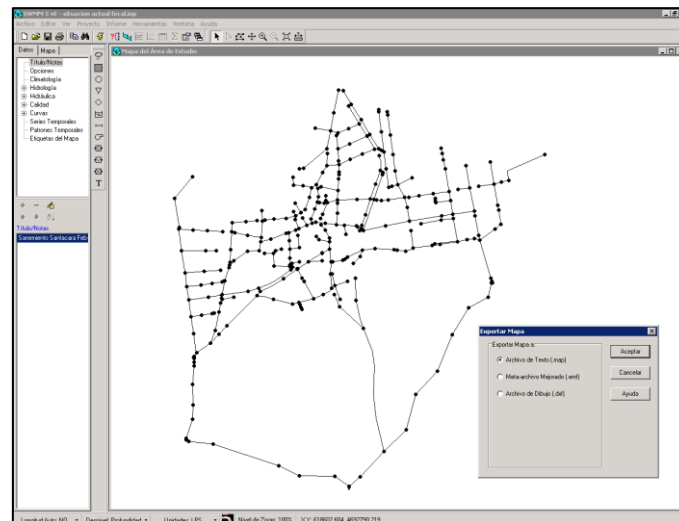
El papel de las válvulas no va a tener la misma importancia que en el abastecimiento ya que el saneamiento en los municipios de la red funciona por gravedad y el desnivel es suficiente para no depender de válvulas de presión.

Respecto a los catálogos principales, es una estructura y funcionamiento muy similar a la del abastecimiento por lo que no se comentará nada al respecto. Igualmente ocurre con los costes y el mapa base. Para este último se copian las capas utilizadas en el proyecto de abastecimiento.

El saneamiento se ha modelizado para un municipio del área de estudio, Santacara. Para ello se requiere de unos pasos previos a la modelización. Respecto a la implementación de la red, ésta no se ha realizado de la misma forma que el abastecimiento. Se parte de unos archivos vectoriales básicos de líneas y puntos obtenidos desde la base de datos de Postgres “mairaga”. Estas capas contienen información básica pero incompleta. Para

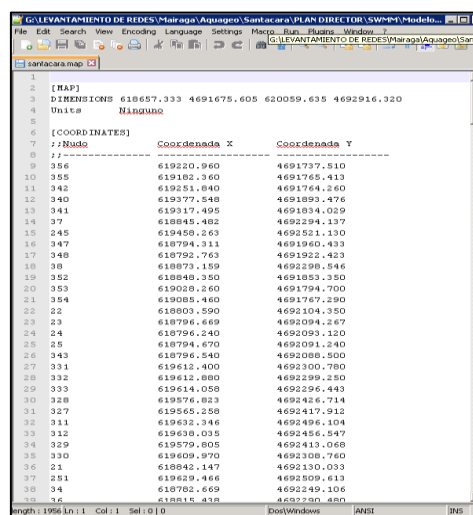
completarla se utilizará un modelo antiguo de Santacara en formato *.inp*, que se puede abrir con EPASWMM, el cual me es proporcionado por la Mancomunidad de Mairaga.

El primer paso sería exportar el modelo de forma que se pueda importar a Qgis y Giswater. La opción más indicada es exportar el modelo a archivo de texto *.map*, extensión que puede ser abierta con Wordpad o Notepad++.

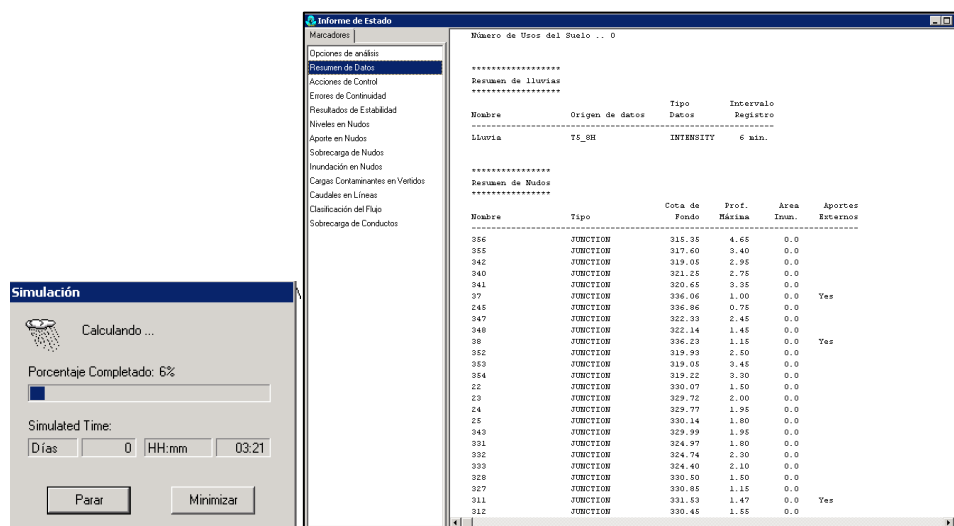


*Figura 30 - EPA-SWMM y exportación del modelo*

En el archivo de texto aparecen las coordenadas X e Y tanto de los nodos como de los tramos. Éstas son de utilizadas más adelante a la hora de añadir la información a los nodos y tramos de la red ya digitalizados anteriormente.



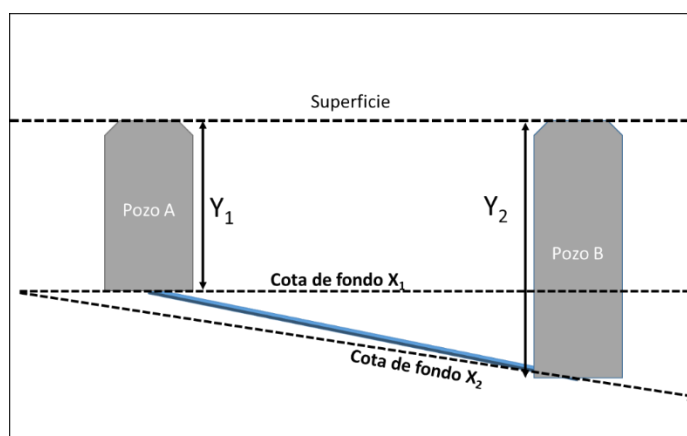




**Figura 32 - Simulación e informe de estado**

En el informe se pueden encontrar los datos que se pedirán en la modelización, como por ejemplo los aportes de caudal, la cota de fondo o la profundidad máxima, de los cuales, estos dos últimos se utilizan para obtener la elevación sin tener que utilizar el MDE (cota de fondo + profundidad máxima (Y) = altura real).

La estructura de la tabla objetivo hace referencia a medidas reales. Mediante el siguiente gráfico se representa de manera resumida las medidas que pide el programa para su correcto funcionamiento.



**Figura 33 - Representación de una parte de sistema de saneamiento**

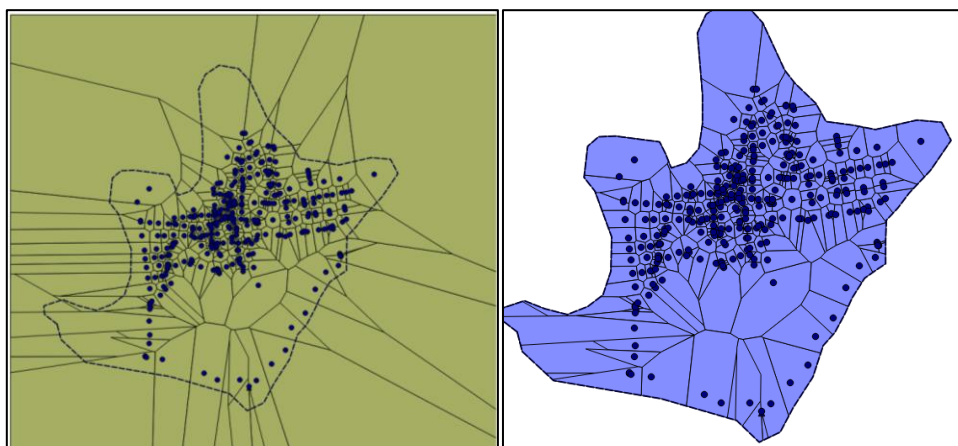
Se elabora un .csv delimitado por comas que contenga todos los datos anteriores para los municipios del área de estudio. Se especifica como geometrías los campos X e Y para obtener como salida un vectorial de puntos.

Mediante la herramienta “NNjoin” se asignan los datos de cota de fondo y profundidad y por último se calcula la cota en altura sumándole a ésta la profundidad. Estos datos se agregan a la capa de pozos de Giswater (*manhole*) mediante un proceso de unión y

mediante la calculadora de campos se reemplazan los campos con la información correspondiente de la unión.

El último paso para poder modelizar el saneamiento de Santacara es la obtención de las subcuencas de drenaje y el sumatorio de consumo/demanda a cada pozo. Para llevar a cabo esto, a partir de la capa de los pozos, se generan los polígonos de Voronoi (herramientas de geoprocso) que se aproximarán a las cuencas objetivo que buscamos.

Una vez obtenidos los polígonos de voronoi se recortan por una capa de límite de la zona de estudio, en este caso se puede utilizar el dma, municipality o sector que son capas que delimitan la zona.

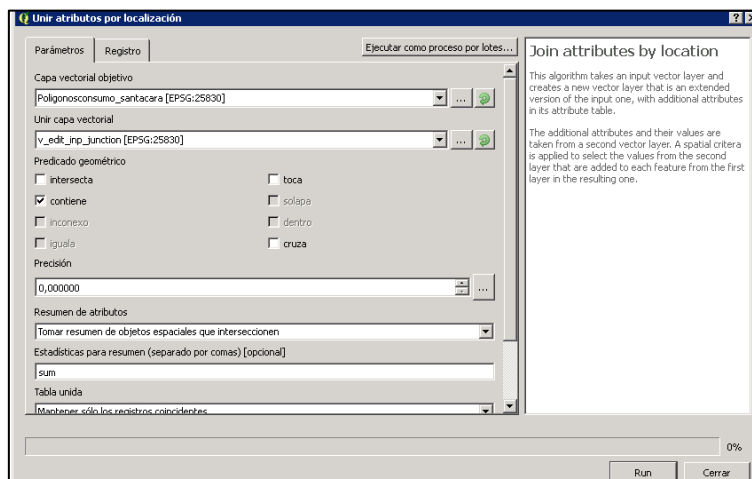


*Figura 34 - Recorte de polígonos de Voronoi para formar las subcuencas*

Se importa la capa de “v\_edit\_inp\_junction” que es una vista de las acometidas del abastecimiento en cuyo campo “demand” está la información de los consumos.

Mediante la herramienta de selección por localización se seleccionan los Polígonos de Voronoi como capa vectorial objetivo y como capa de unión las acometidas de ws (nombre del proyecto de abastecimiento). En “resumen de atributos” se escogerá tomar el resumen de los objetos espaciales que intersecten, el predicado geométrico será “contiene” y las estadísticas para resumen será el sumatorio, ya que se busca obtener la suma de la demanda que llega a cada nodo.

De todas las subcuencas obtenidas se eliminarán aquellas en las que no haya urbanización cerca ya que no precisa de dato de consumo o demanda en esos puntos. Por lo tanto, se han eliminado varias de las subcuencas situadas en el sector sur de Santacara.



*Figura 35 - Herramienta de unir atributos por localización*

Para finalizar solo habría que unir la información por el campo “node\_id” a la tabla “dwf” agregando los datos del campo “demand” mediante la calculadora de campos al campo “value”.

De las subcuencas se deben rellenar algunos campos para la modelización. Estos se pueden calcular y son los siguientes:

- **Área**, emplear la calculadora de campos con su función \$area creando un campo nuevo. Esta área está en m<sup>2</sup> por lo que habrá que crear un campo nuevo o actualizar el mismo dividiendo el área entre 10000 para obtener el dato en hectáreas, que es el que se pide en tabla inp\_subcatchment.
- **Clength** se utilizará la expresión \$perimeter / 3.
- **Width**. Para calcularlo bastará con dividir el campo “area” (el campo en m<sup>2</sup>) entre el campo “clength”.

Después hay que rellenar el resto de los campos basándose en el proyecto de ejemplo de saneamiento que ofrece Giswater “ud\_sample”. Para poder modelizar se pedirá, como en el caso del abastecimiento, tablas con patrones. Para ello, en Giswater, dentro del módulo de SWMM, en el grupo de capas denominado “Curves & Timeseries” hay 3 tablas que se deben rellenar (Figura 36).

- *Timeseries values*: tabla en la que se pueden establecer periodos de lluvia entre intervalos de tiempo definidos por el usuario. Es la tabla más importante.
- *Timeseries catalog*: tabla cuya función sirve para determinar el tipo de patrón. En la columna *times\_type* se puede determinar si los datos en el patrón se tratan como absolutos o relativos y en *timser\_type* si se trata de análisis de lluvias, evaporación, temperatura, etc.

- *Patterns*: tabla donde se selecciona si el patrón será diario, horario o al mes.

	id	timser_id	date	hour	time	value	fname
1	1	T5-5m			0:00	0.7800	
2	2	T5-5m			0:05	1.1500	
3	3	T5-5m			0:10	2.2200	
4	4	T5-5m			0:15	3.9900	
5	5	T5-5m			0:20	4.8800	
6	6	T5-5m			0:25	8.7500	
7	7	T5-5m			0:30	5.1500	
8	8	T5-5m			0:35	3.2000	
9	9	T5-5m			0:40	2.2500	
10	10	T5-5m			0:45	1.2500	
11	11	T5-5m			0:50	0.9200	
12	12	T5-5m			0:55	0.4900	
13	13	T8_10m			0:00	0.0000	
14	14	T8_10m			0:10	1.5800	
15	15	T8_10m			0:20	1.6500	
16	16	T8_10m			0:30	1.7300	
17	17	T8_10m			0:40	1.8100	
18	18	T8_10m			0:50	1.8900	
19	19	T8_10m			1:00	1.9900	
20	20	T8_10m			1:10	2.1000	
21	21	T8_10m			1:20	2.2200	

	id	timser_type	times_type
1	T5-5m	Rainfall	RELATIVE
2	T8_10m	Rainfall	RELATIVE

	pattern_id	pattern_type	observ
1	Santacara	HOURLY	

**Figura 36 - Tablas para establecer patrones de lluvia en proyectos de saneamiento**

Una vez se ha hecho esto, seleccionando el patrón deseado en el grupo de capas de “Hydrology” → tabla *Inp Rainage* (Figura 37) y asignando a la explotación deseada (Santacara), el programa ya puede modelizar y ofrecer resultados.

	rg_id	form_type	intvl	scf	rgage_type	timser_id	fname	sta	units	expl_id
1	RG_01	VOLUME	0.10	1000.0000	TIMESERIES	T8_10m				Santacara

**Figura 37 - Tabla de selección de patrón de lluvias**

Para el abastecimiento se emplea la tabla de la Figura 28, en la que se muestra el patrón de consumo o la variabilidad porcentual de la demanda a lo largo de un día estándar.

La serie temporal T8\_10m registrada en la tabla “*Timeseries values*” será la utilizada para la primera parte de modelización del saneamiento en Santacara. En ésta también intervienen los porcentajes de consumo del abastecimiento de la Figura 28 ya que el agua utilizada para el consumo humano deriva al sistema de saneamiento.

### **3. Modelización y análisis del modelo**

En este apartado se muestran los resultados de la modelización a partir de la red implementada. Como se mencionó anteriormente, los datos provienen de las capas de levantamiento de la red ofrecidas por Aqualia y la Mancomunidad de Mairaga. En este apartado se busca obtener un modelo de la red de saneamiento y abastecimiento y resultados sobre presiones, flujos, velocidades, escurrimiento entre otros. En el caso del saneamiento se analizará la variación del modelo en el tiempo con la precipitación.

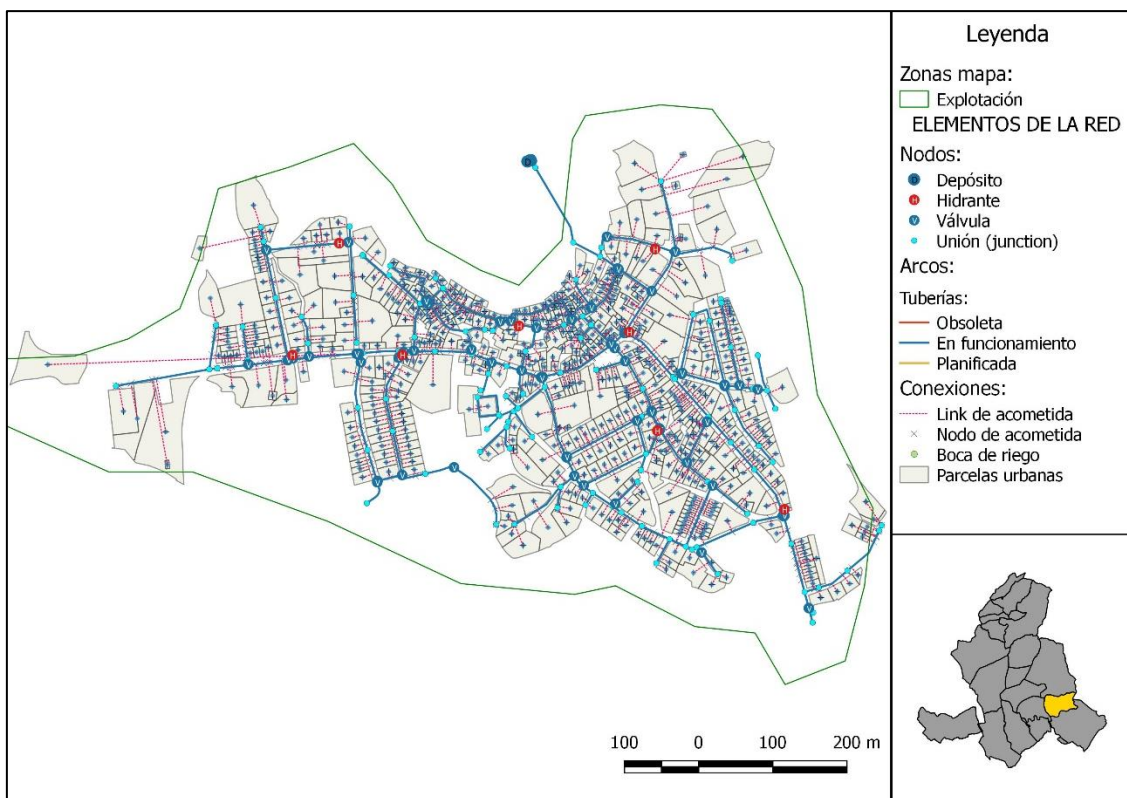
Los municipios elegidos para el análisis del abastecimiento son Murillo el Fruto y Santacara de los cuales derivan, como resultado de la implementación de la red, los siguientes mapas (Figura 38, Figura 39). Estos mapas se utilizan como dato de entrada a la modelización de la red.

En el caso de Murillo el Fruto (Figura 38) el depósito principal se sitúa en la parte noreste. La red implementada cuenta con 275 elementos de tipo nodo sin contar el propio depósito, de los cuales 193 son uniones (*junction*) de tuberías, 74 son válvulas y 8 hidrantes. Respecto a las tuberías, cuenta con 294 cuya longitud conjunta total es de 7110,57 metros.

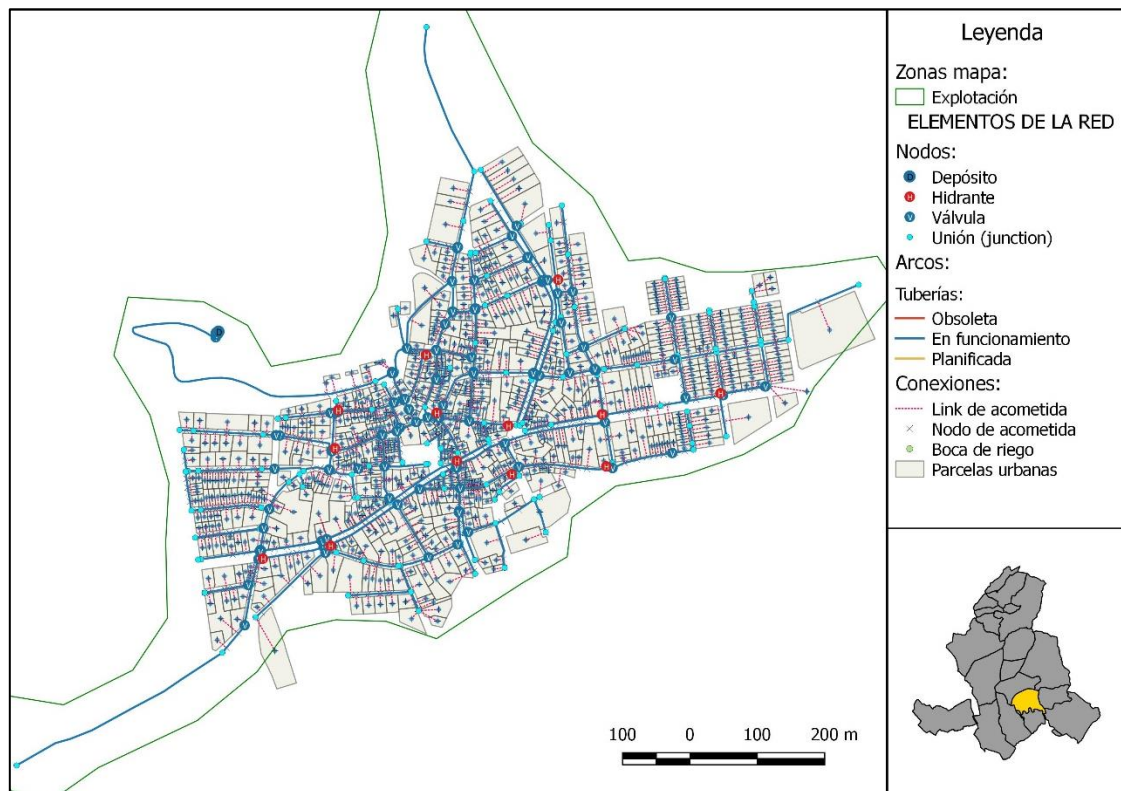
Respecto a las conexiones, es decir, aquellos elementos que se sirven de la red y están conectados a la misma, en Murillo el Fruto la red implementada cuenta con 606 acometidas y 66 bocas de riego.

En el caso de Santacara (Figura 39) el depósito principal se sitúa en la parte noroeste. La red implementada, sin contar el depósito, cuenta con 388 elementos de tipo nodo, de los cuales 257 son uniones de tuberías, 118 son válvulas y 13 hidrantes.

Respecto a las tuberías, cuenta con 420 cuya longitud conjunta total es de 11.069,57 metros. En cuanto a las conexiones, Santacara cuenta con 760 acometidas conectadas a la red y 66 bocas de riego. Con estos datos de partida la modelización se puede ejecutar en Giswater.



*Figura 38 - Red de abastecimiento de Murillo el Fruto*

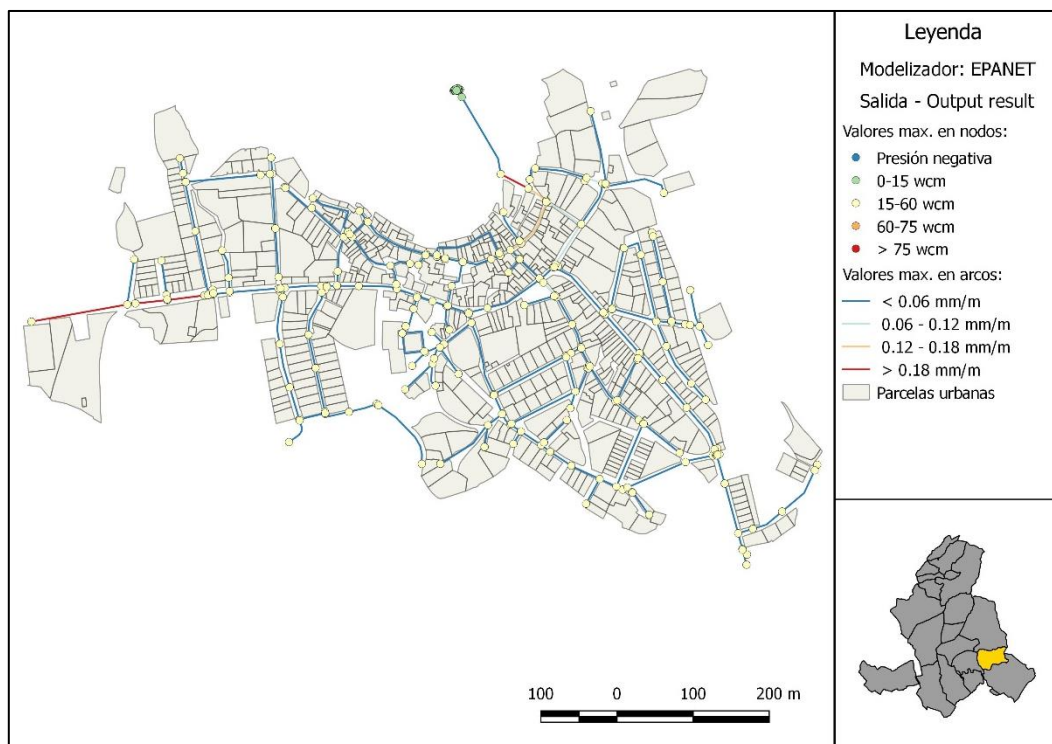


*Figura 39 - Red de abastecimiento de Santacara*



### 3.1. Resultados de ejecución del modelo de abastecimiento

Los siguientes mapas muestran los resultados de realizar la modelización de la red de abastecimiento de Murillo el Fruto y Santacara a partir del patrón de demanda mencionado en el apartado de metodología. Giswater, en las tablas de atributos de la sección EPANET, devuelve resultados en valores máximos, mínimos y promedios. Se ha optado por los máximos, estableciendo una leyenda a partir de los valores de presión en los nodos y los flujos de agua y pérdida de carga en los arcos.



*Figura 40 - Pérdida de carga y presiones de la red de abastecimiento de Murillo el Fruto*

El primer mapa resultado de la modelización del abastecimiento es del primer municipio seleccionado, Murillo el Fruto. Como se aprecia en la Figura 40, la mayor parte de las presiones de los nodos se sitúan en un umbral intermedio entre 15 y 60 metros de columna de agua (o wmc, *water column meters*,) salvo en aquellos nodos más cercanos al depósito de agua. La máxima presión alcanzada es de 45,42 wmc y la mínima es de 1,02 wmc.

Ocurre de forma similar en el modelo de abastecimiento de Santacara (Figura 42) donde las presiones entre 0 y 15 wcm se dan en los nodos del depósito, aunque se pueden encontrar tres o cuatro nodos al final de la tubería saliente del depósito que también se encuentran en este umbral de bajas presiones.

Esto se puede relacionar con el otro parámetro analizado en el mapa, la pérdida de carga. Este concepto puede definirse como la pérdida de presión de un fluido debido a la fricción que se produce entre sus partículas y las paredes de la tubería sumando los diversos obstáculos en la conducción (válvulas, derivaciones, estrechamientos, etc.)

La pérdida de carga depende de una serie de factores como el caudal que circula por la tubería, el material de esta, el tipo de fluido o la longitud del recorrido. Se pueden utilizar diferentes unidades de medida, pero en este caso la unidad empleada en Giswater es el milímetro por metro de columna de agua.



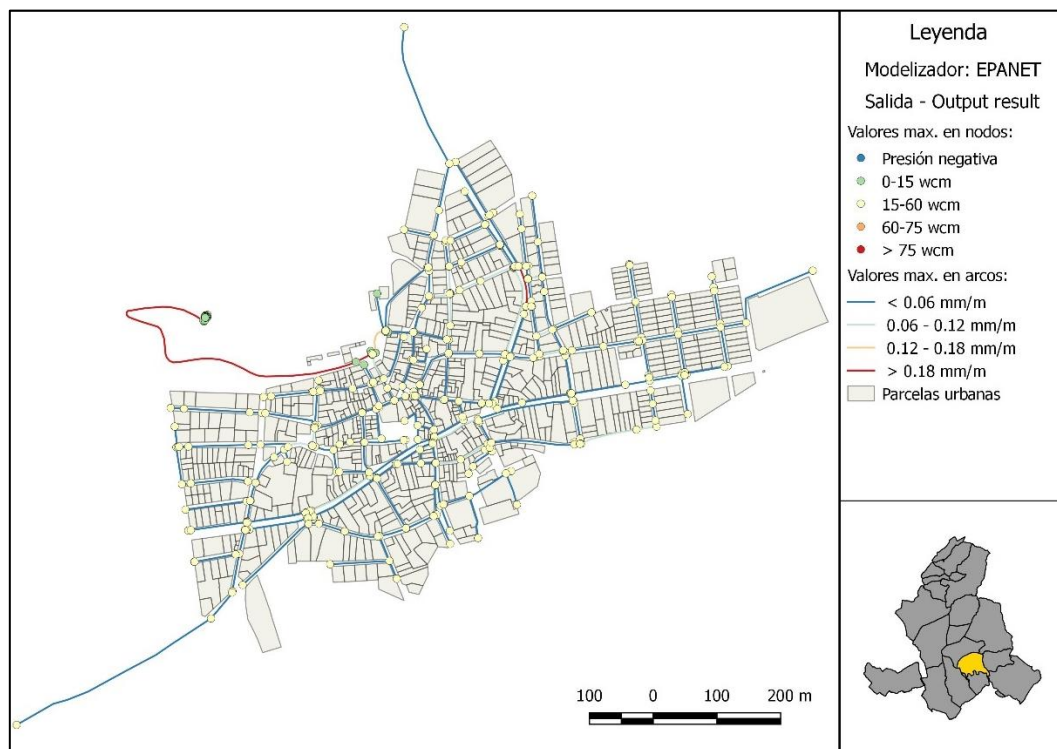
*Figura 41 - Flujo máximo en tubería de la red de abastecimiento de Murillo el Fruto*

Si comparamos la Figura 41 con la Figura 40 se puede observar la relación existente entre el flujo de caudal que circula por la tubería y la pérdida de carga, especialmente en el tramo de tubería situado más al oeste de Murillo el Fruto cuya pérdida de carga es mayor a 0,18 mm por metro lineal de tubería. Por otra parte, en la mayoría del resto de tramos, el flujo de agua, al estar en su intervalo más pequeño (entre 0 y 0,19 litros por segundo) da lugar a una pérdida de carga menor ( $< 0.06$  mm/m).

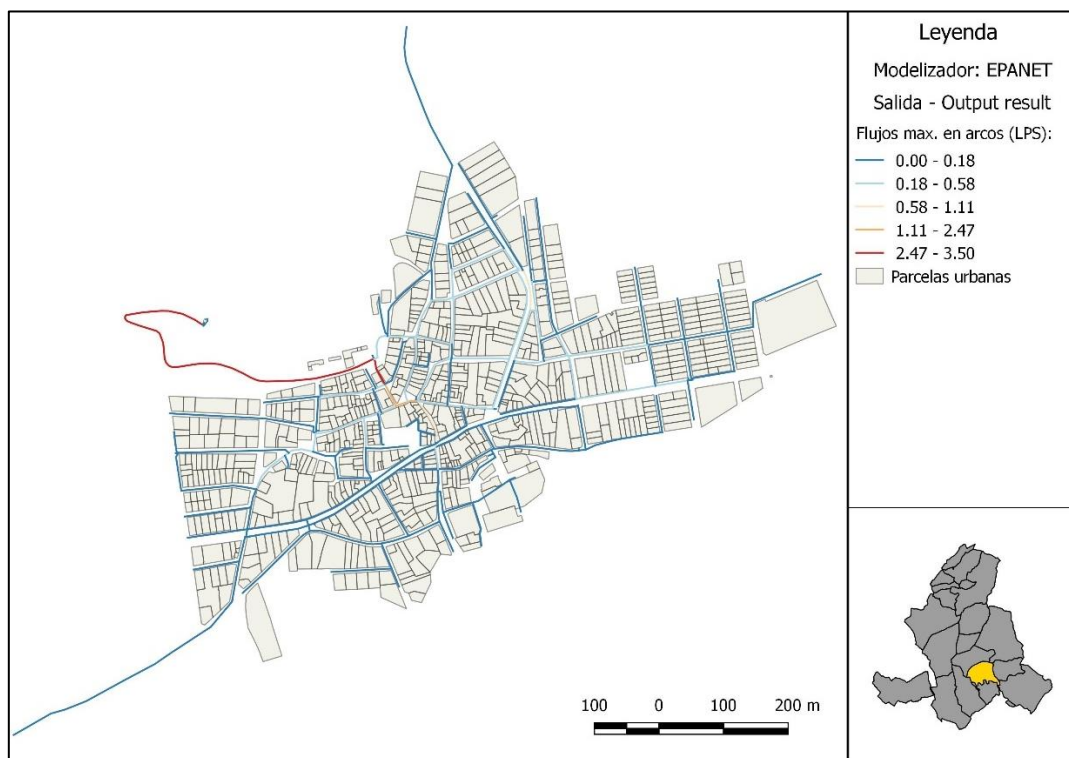
El caso de Santacara (Figuras 42 y 43) es similar. Las bajas presiones se localizan en los nodos próximos al depósito y además el flujo de agua en la tubería del depósito, en la parte noroeste, es de 3,5 litros por segundo. A ese factor también se le suma la longitud del tramo que es uno de los más largos de la red de abastecimiento y la sinuosidad que presenta.

La pérdida de carga aumenta cuando aumenta el caudal, cuando el recorrido del agua es mayor y cuando se producen estrechamientos y curvas. En las tuberías de la parte más céntrica del área urbana de Santacara se da el factor del estrechamiento sumado a un flujo de agua medio 0,19 a 0,62 litros por segundo lo que explica esos 3 o 4 tramos pequeños donde la pérdida de carga también supera los 0,18 mm/m.





*Figura 42 - Pérdida de carga de la red de abastecimiento de Santacara*



*Figura 43 - Flujo máximo en tubería de la red de abastecimiento de Santacara*

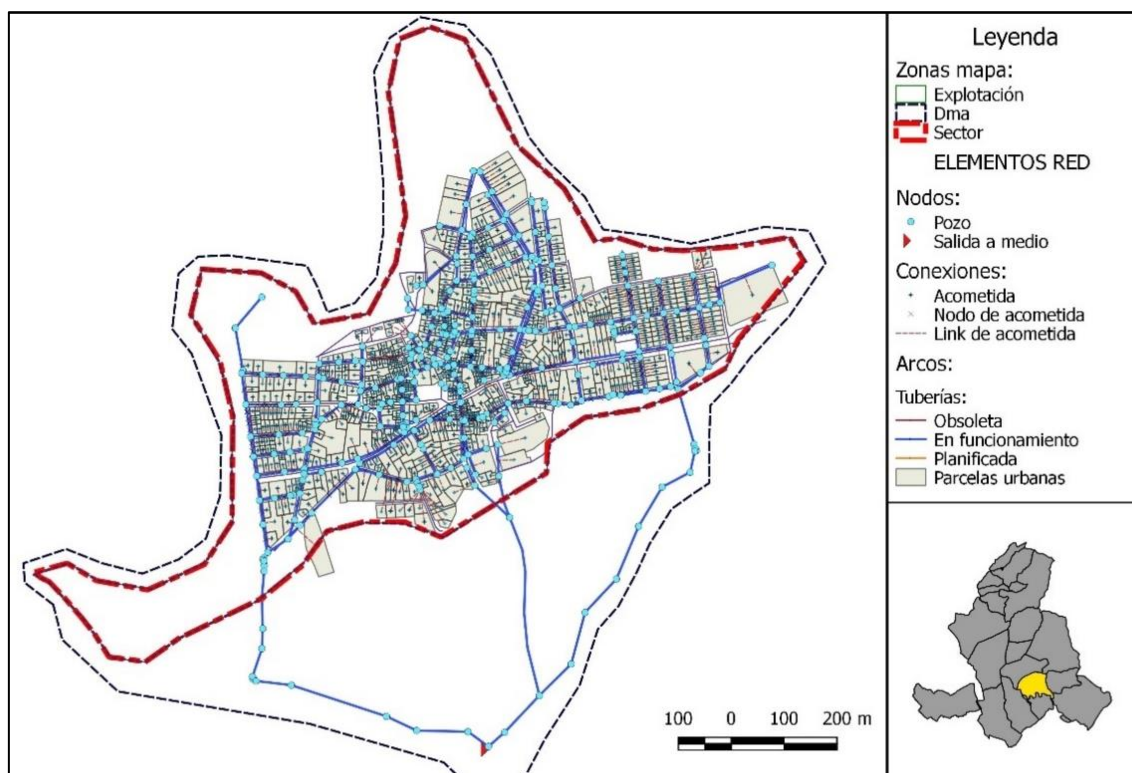
### 3.2. Resultados de la ejecución del saneamiento: serie temp. T8\_10m

Respecto al saneamiento, en este punto se ha elaborado el mapa de la red de Santacara y el mapa de preparación a la modelización con las subcuencas obtenidas mediante los polígonos de Voronoi y los consumos/demandas. El último se utiliza para realizar la modelización, dentro de la cual interviene la serie de precipitación T8\_10m mencionada anteriormente.

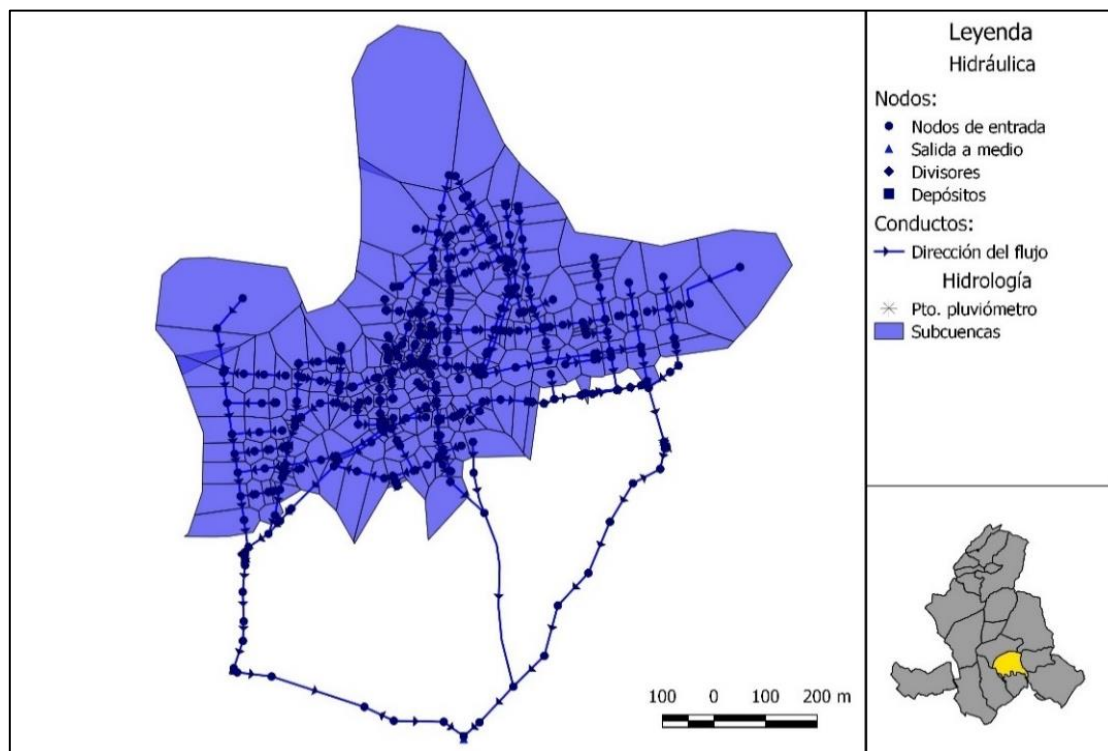
Es una serie que comprende un periodo de un día con una resolución de 10 minutos. Al modelizar, al igual que en el caso del abastecimiento, la información se registra en las tablas de atributos del grupo de capas EPA-SWMM y permite elaborar mapas temáticos con los valores máximos, mínimos y promedios. Los valores elegidos para los mapas son la esorrentía, el porcentaje de flujo en tubería y el grado de inundación. En una segunda parte del análisis se emplea para la modelización una serie temporal más compleja que sirve para comparar los resultados.

Como se aprecia en la Figura 44, la red implementada de saneamiento de Santacara comprende 312 conductos que suman una longitud de 11115,58 metros. Respecto a los nodos contiene una salida al medio y 309 pozos.

En cuanto a las conexiones, la red cuenta con 760 acometidas enlazadas con sus links respectivos.



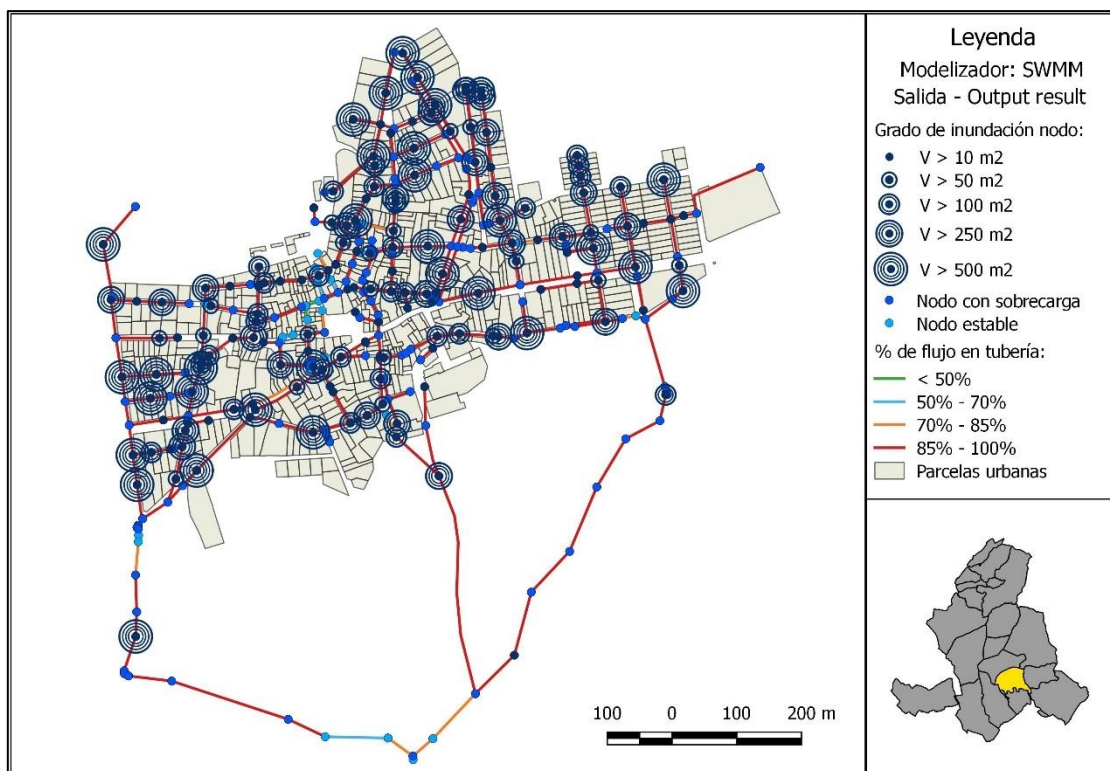
*Figura 44 - Red de saneamiento (pluviales) de Santacara*



*Figura 45 - Mapa previo a la modelización con las subcuencas de drenaje y consumos*

Este mapa (Figura 45) es el resultado de aplicar la parte final del apartado de metodología del saneamiento (Figura 34). Una vez se obtienen las subcuencas se eliminan aquellas que no cubren parcelas urbanas ya que no va a haber consumo/demanda en esas zonas.

El dato de entrada al análisis se compone de un total de 262 subcuencas abarcando una superficie total de 55,94 ha o unos 560.000 m<sup>2</sup>, la salida a medio que conecta con la “EDAR Santacara – Mérida” (Ver Figura 2) el punto del pluviómetro (al norte de Santacara, no visible en el mapa) y la dirección del flujo del agua a través de los conductos.



*Figura 46 - Modelización del saneamiento de Santacara a partir de la serie T8\_10m*

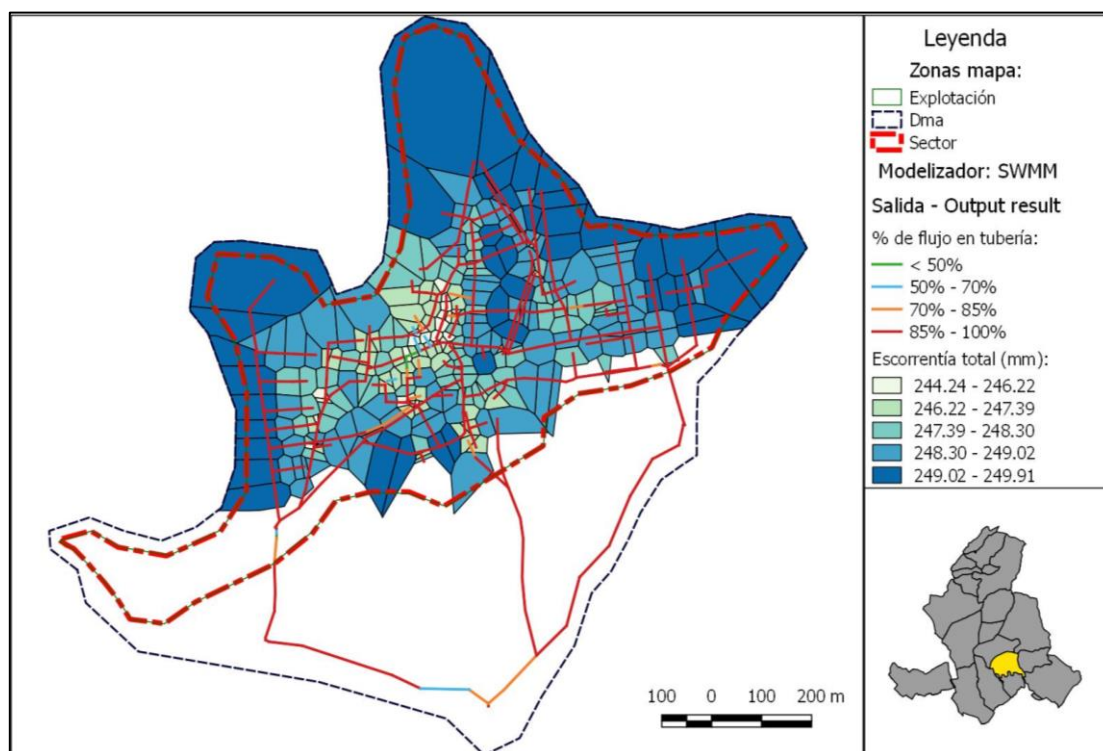
En esta imagen se mostraría la respuesta del modelo al patrón de lluvia explicado en la metodología. Como se puede observar hay una cantidad notable de nodos que experimentan sobrecarga con un grado de inundación moderado – alto. El grado de inundación en Giswater se refiere a toda el agua que desborda un nodo, en el tiempo que ha estado desbordado, el máximo flujo durante la inundación, así como los distintos volúmenes de agua en  $m^2$  (VV.AA., 2019).

Según los datos de la tabla de atributos resultado del análisis, son 42 los nodos que presentan un grado de inundación superior a los  $500 m^2$ . Por debajo de éstos están los 60 nodos cuyo grado de inundación llega hasta los  $250 m^2$ . Los 139 nodos restantes tienen un grado de inundación menor. De esos 139, 51 tienen un grado de inundación entre 50 y  $100 m^2$ .

Con estos resultados para el patrón de lluvia dado, se puede ver que existe una cierta relación entre el porcentaje de flujo de agua en tubería y la cantidad de nodos que desbordan agua, dándose la mayor concentración de nodos con un grado de inundación a partir  $500 m^2$  en las tuberías cuyo flujo comprende desde 80% a 100%.

Así mismo, la presencia de urbanización también es un factor determinante en el grado de inundación de los nodos ya que se tiene en cuenta el aporte de agua restante del consumo que deriva a la red a través de las acometidas. Por lo tanto, donde no hay urbanización no se genera este tipo de problema, como puede apreciarse en el sector sur de Santacara.





*Figura 47 - Porcentaje de flujo en tubería y escorrentía total de subcuenca para la serie T8\_10m*

En este mapa (Figura 47) se muestran los valores de escorrentía total por cada subcuenca de drenaje creada para el saneamiento. La escorrentía (*subcatchment runoff*) hace referencia a los valores totales de precipitación, evaporación, infiltración, profundidad y volumen de la escorrentía de la subcuenca. Se puede representar con valores totales o con el coeficiente de escorrentía.

Como se puede apreciar en el plano, las subcuencas con mayor escorrentía, entre 249,02 mm y 249,91 mm, se concentran bordeando la parte norte de Santacara. Contiguas a éstas, se encuentra el segundo grupo de subcuencas con valores de escorrentía entre 247,39 mm y 249,02 mm. Finalmente, en el área más céntrica del municipio, donde hay mayor concentración de parcelas urbanas y donde las subcuencas ocupan menor superficie se localizan las que presentan el menor valor de escorrentía (244,24 – 247,39 mm).

Se puede apreciar una relación directa entre el porcentaje de flujo en tubería y la cantidad total de escorrentía de las subcuencas siendo aquellos lugares donde el flujo es del 85% o superior donde se dan las escorrentías más altas, mientras que aquellos lugares donde el flujo es de entre 50 – 70% la escorrentía es más baja. Esto último se hace notorio en el área centro-oeste de la capa de subcuencas donde los flujos en tubería llegan a estar por debajo del 50% y donde se dan las menores escorrentías de la zona (244,24 – 246,22 mm).

### **3.3. Resultados de la ejecución del saneamiento: serie 2012 – 2014.**

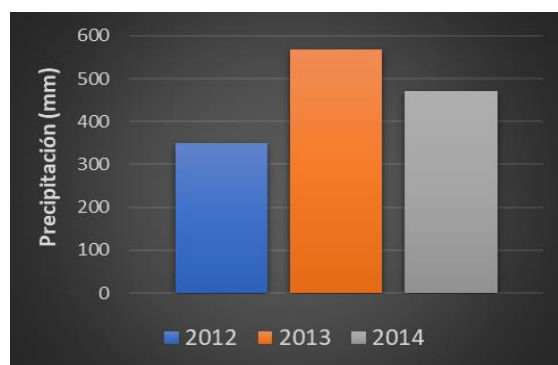
Una vez realizado el análisis con la serie temporal de lluvia de un día, se busca realizar un análisis de un periodo de tiempo mayor para ejemplificar la respuesta del modelo y

compararla con los resultados anteriores. Se ha buscado la estación meteorológica más próxima a la zona del análisis y la información obtenida ha sido facilitada por el Gobierno de Navarra. En este caso, la estación elegida es la de “Carcastillo (La Oliva) GN, situada a una altitud de 343 m, en las coordenadas X:626471 / Y:4692142 del sistema referencia ETRS89, proyección UTM huso 30. La estación lleva funcionando desde el año 1991. Los datos descargados son de precipitación entre el 1 de enero de 2012 y el 31 de diciembre de 2014, con una resolución de 10 minutos.

Analizando los datos de partida, se ha calculado la precipitación máxima registrada por cada día del año en la estación, en cada uno de los 3 años. En la Tabla 1 se muestran los 4 máximos registros por fecha.

Año	Fecha de máximo registro	Precipitación (mm)
2012	20 de octubre	<b>43,99</b>
	19 de mayo	22,55
	21 de marzo	21,21
	21 de septiembre	21,09
2013	4 de octubre	<b>52,32</b>
	9 de junio	25,06
	7 de junio	22,15
	17 de mayo	20,78
2014	29 de noviembre	<b>31,22</b>
	3 de julio	29,94
	24 de junio	28,34
	3 de noviembre	15

*Tabla 1 - Picos de máxima precipitación registrados*



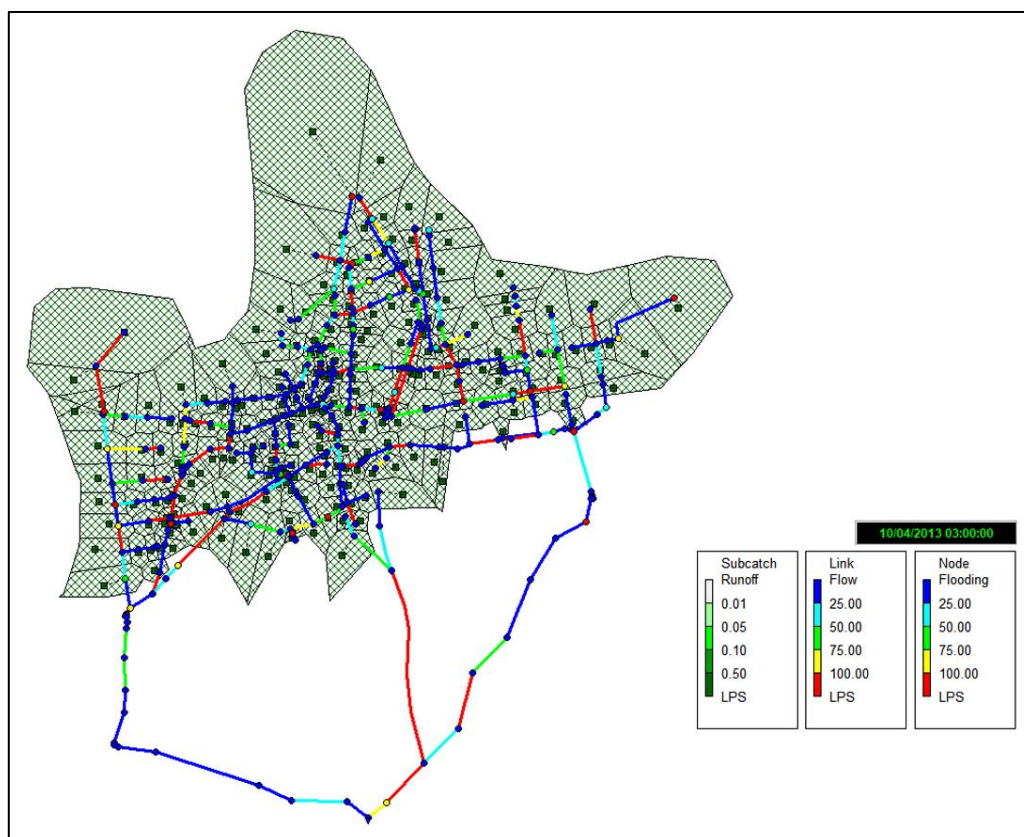
*Figura 48 - Precipitación total anual de la estación automática de Carcastillo (mm)*

Como se aprecia en la Figura 48, el año que más precipitación ha registrado es el 2013, con un total de 568 mm. A éste le sigue el 2014 con un total de 471,62 y finalmente el año 2012 se presenta como el menos lluvioso de la serie, con 350,26 mm totales anuales. De la serie de precipitación hay que destacar la presencia de varios días secos, es decir, con un registro de 0 mm.

Para el análisis de la respuesta del modelo en Santacara, es conveniente utilizar periodos de lluvia abundantes de forma que se pueda comprobar el funcionamiento del modelo por

lo que el año 2013 es el más indicado. El día escogido será el 4 de octubre ya que tiene el pico más alto de precipitación acumulada y presenta lluvias cuya duración que no llega a una hora, pero son abundantes. Esto suele facilitar el análisis porque la respuesta del modelo es muy notoria entre periodos de lluvia y ausencia de precipitación.

Cuando se tratan series de datos tan grandes Giswater tiene problemas para la computación y más si se trabaja a distancia sobre una base de datos y con una serie de 3 años. Por eso se ha exportado la red de saneamiento desde QGIS a EPA-SWMM mediante una opción que permite guardar en un archivo de extensión .inp a partir de la explotación y el sector seleccionado.



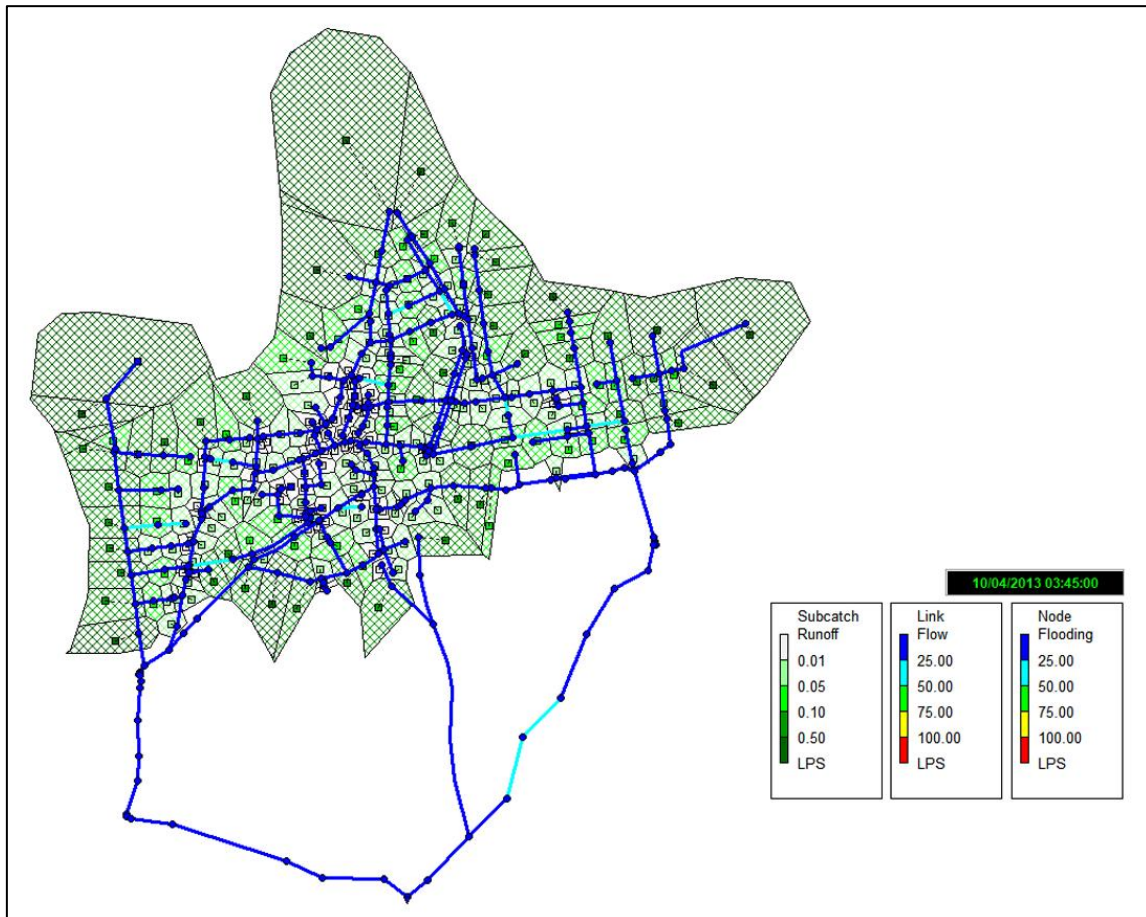
*Figura 49 - Resultado de la modelización del saneamiento con EPA - SWMM (4 de octubre de 2013, hora: 3:00)*

Como se aprecia en la Figura 49, esta modelización se corresponde con el día 4 de octubre de 2013 a las 3:00 horas, aproximadamente el momento en el que se registra un valor de 9,73 mm en el pluviómetro. La precipitación da lugar a diferentes flujos en tubería (*Link flow*) y se provocan inundaciones en los nodos/pozos. A diferencia de Giswater, EPA – SWMM mide el grado de inundación en litros por segundo (LPS). La mayor parte de esos flujos está por debajo de los 25 LPS y en los pozos asociados a ellos la inundación registrada es ligera. Sin embargo, hay 171 conductos cuyo flujo sobrepasa los 25 LPS y varios pozos asociados a éstos desbordan agua considerablemente. Si se ejecuta una consulta sobre el grado de inundación de los pozos se obtiene lo siguiente:

- 12 pozos con un grado de inundación  $\geq 25$  y  $\leq 50$  LPS.

- 7 pozos con un grado de inundación  $\geq 59$  y  $\leq 75$  LPS.
- 9 pozos con un grado de inundación  $\geq 75$  y  $\leq 100$  LPS.
- 15 pozos con un grado de inundación superior a 100 LPS.

De los pozos superiores a 100 LPS destacan el 3008 y 3212 por llegar a una inundación de más de 300 LPS.

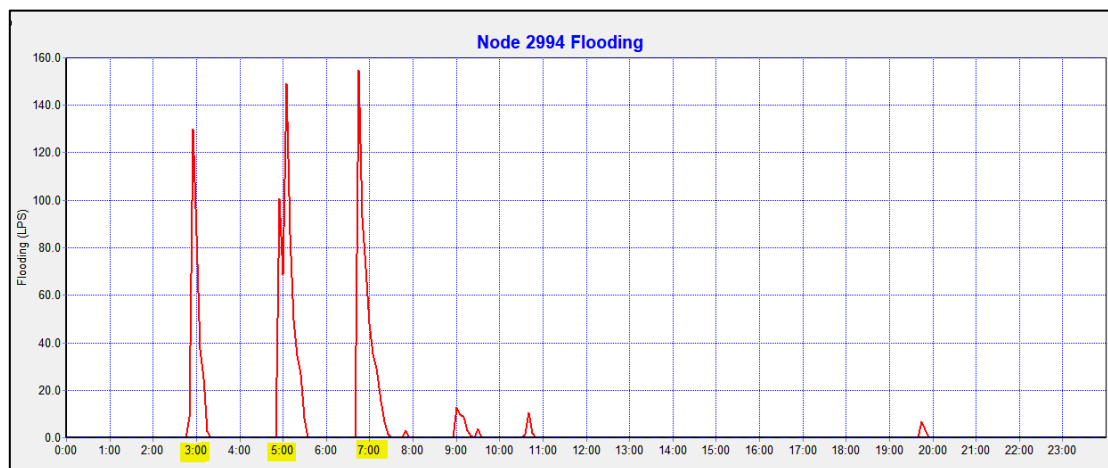


*Figura 50 - Resultado de la modelización del saneamiento con EPA - SWMM (4 de octubre de 2013, hora: 3:45)*

En la fecha seleccionada para el análisis se dan tres periodos de lluvia intensa. Con el fin de visualizar estos periodos y los cambios del modelo se puede elegir un nodo/pozo representativo como es el 2994 que se muestra en la Figura 51.

En el gráfico se pueden observar tres picos de inundación a las horas 3:00, 5:00 y 7:00 que se corresponden con los periodos de lluvia mencionados. La duración de los mismos no llega a una hora pero se puede deducir que fueron intensos por la repercusión en los nodos de la red y en los flujos de tubería. El máximo de precipitación alcanzada a las 2:50 horas es de 9,73 mm. En el siguiente periodo, a las 5:00 se registran 11,63 mm y a las 6:40 12,97 mm.





*Figura 51 - Evolución del grado de inundación del nodo/pozo nº 2994 durante el día 4/10/2013*

Desde las 3:15 aproximadamente, la lluvia va perdiendo intensidad hasta las 4:45 donde se da la transición al siguiente periodo de lluvia. La escorrentía de las subcuencas es, junto con los flujos de las tuberías, una forma ideal de visualizar el comportamiento del modelo con el paso del tiempo.

A las 3:00, como se observa en la Figura 49, la escorrentía de las subcuencas está muy por encima de los umbrales predeterminados en el programa con más de 30 superando los 20 LPS. En las subcuencas más grandes que comprenden todo el area del borde norte se dan casos en los que la escorrentía supera facilmente los 100 LPS e incluso llega a más de 418 LPS.

Esas cifras se reducen al poco rato, ya que las lluvias pierden esa intensidad o puede que incluso paren. Debido a ello en la Figura 50 se observan valores ya dentro del umbral de escorrentía donde los valores se sitúan en su mayoría por debajo de 0,50 LPS.



#### **4. Análisis del coste de la red**

El último análisis por realizar es el del coste de la red, que comprende saneamiento y abastecimiento. Según la información obtenida en las páginas web de Urkoitik, generador de precios y la suministrada durante las prácticas externas en la Mancomunidad de Mairaga, se ha llevado a cabo el procedimiento explicado en el apartado 2.4, rellenándose los catálogos con los precios de cada elemento tipo nodo y arco.

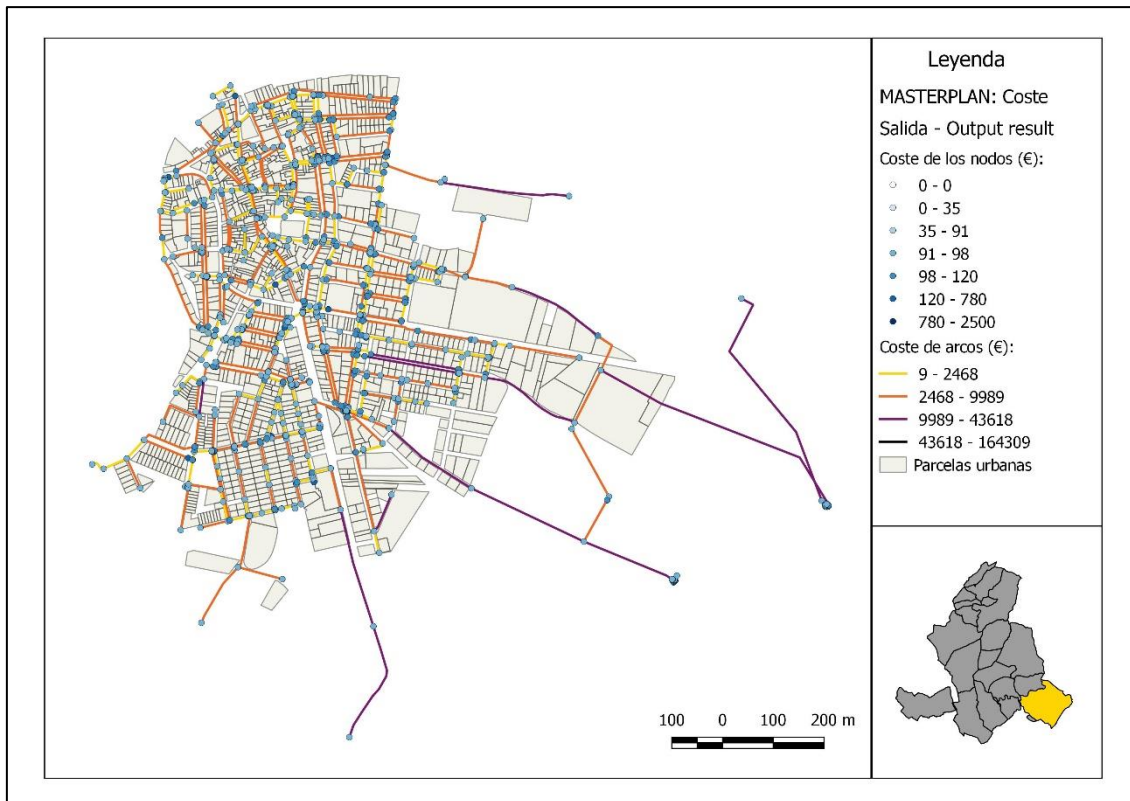
El resultado se muestra en la siguiente tabla (Tabla 2) donde se puede observar que Carcastillo es el municipio donde más cuesta instalar la red sumando un total de 1.410.525,09 €. Los factores que más influyen en el coste total de la red son la longitud de los tramos de tubería, el material de fabricación y, lógicamente, el número de elementos.

Carcastillo es el municipio con mayor superficie urbanizada y el número de elementos de la red necesarios para abastecer a la población será mayor. También hay que destacar el caso Caparroso que cuenta con menos elementos tanto de arcos como de nodos, pero de materiales algo más caros y mayor longitud de tubería.

<b>MUNICIPIO</b>	<b>ARCOS</b>	<b>Coste total (€)</b>	<b>NODOS</b>	<b>coste total (€)</b>
<b>Santacara</b>	420	637.713,68	388	46.932,69
<b>Carcastillo</b>	802	1.327.898,76	720	82.626,33
<b>Caparroso</b>	652	1.302.286,91	595	53.913,98
<b>Mélida</b>	385	1.014.914,17	356	49.955,69
<b>Murillo el Fruto</b>	294	459.650,39	275	32.432,66

*Tabla 2 - Coste estimado de nodos y arcos de la red de abastecimiento*

El módulo MASTERPLAN de Giswater también permite representar los costes de cada elemento por lo que permite elaborar mapas como la Figura 52 para visualizar mejor la información.



*Figura 52 - Ejemplo de representación: coste de la red de abastecimiento de Carcastillo*

De la parte de saneamiento solo se ha podido calcular el coste de los arcos por falta de información sobre el tipo de pozo y el precio. De igual forma, se mantiene Carcastillo como el municipio con mayor coste de establecimiento de la red (Tabla 3).

MUNICIPIO	ARCOS	Coste total (€)
<b>Santacara</b>	312	746.438,11
<b>Carcastillo</b>	360	1.079.771,26
<b>Caparroso</b>	515	790.417,94
<b>Mélida</b>	343	737.575,95
<b>Murillo el Fruto</b>	250	640.217,52

*Tabla 3- Coste estimado de los arcos de la red de saneamiento*

## **5. Conclusiones**

Giswater es un complemento que acerca el mundo de la ingeniería hidráulica a los Sistemas de Información Geográfica ofreciendo una variedad de herramientas que ayudan a organizar la información funcionando como bases de datos y a la resolución de problemas reales que se dan en las redes de abastecimiento y saneamiento.

Nos encontramos ante una herramienta en desarrollo con bastante potencial al congregarse en su funcionamiento diferentes tipos de software libre. El de bases de datos como es Postgre SQL, QGIS como software SIG cuya evolución trae cada vez más funcionalidades y aspira a superar al software de pago, y los programas de modelización EPANET y EPA SWMM utilizados en todo el mundo.

Giswater como extensión de QGIS compensa la dificultad del software de modelización de elaborar una buena cartografía, aprovechando las opciones de visualización como las leyendas, la categorización, etiquetado y composición de mapa.

La organización en módulos de capas aporta cierta accesibilidad separando las diferentes funciones que ofrece. Del módulo INVENTORY que, como su nombre indica hace la función de inventariar los elementos de la red, es destacable la parte de catálogos que ha permitido manejar grandes cantidades de información e introducir datos de manera semiautomática de tal forma que no es necesaria la introducción de comandos SQL. Dentro del mismo módulo también es preciso destacar las zonas de mapa (map zones), que son un buen sistema para filtrar los datos y centrarse solo en la zona que se trabaja. Establecer zonas de mapa funciona como una versión mejorada de la selección pues todas las operaciones sobre la red sólo se ejecutarán en la zona determinada lo que ha sido de utilidad para modelizar el saneamiento y abastecimiento por municipios.

El módulo MASTERPLAN demuestra ser una funcionalidad potente que a partir de la introducción de precios en los catálogos y en base a las características del elemento de la red, realiza el cálculo del coste necesario para acometer las obras. Es una opción que puede facilitar a los ayuntamientos la previsión presupuestaria.

Respecto al análisis, Giswater se desenvuelve bien al modelizar redes de abastecimiento permitiendo analizar los flujos de las tuberías, pérdidas de carga y velocidades entre otros parámetros al igual que otros programas de modelización. En el saneamiento funciona de forma similar, los parámetros que se pueden visualizar tras la modelización comprenden desde flujos y velocidades hasta presiones y escurrimiento de subcuencas. Sin embargo, durante el análisis se pudieron apreciar ciertas desventajas.

En primer lugar, el acceso a una base de datos para llevar a cabo el trabajo a distancia precisa de una buena conexión. A la hora de analizar series temporales de precipitación que abarcan días, semanas o un mes el programa responde de forma aceptable y computa en poco tiempo. En cambio, cuando se busca analizar series anuales de precipitación el

complemento da problemas a la hora de computar. Además, al integrar EPA SWMM dentro de Giswater, se pierde una funcionalidad importante que es la de visualizar la progresión de los eventos en el tiempo.

Por lo tanto, mientras que en el programa oficial de EPA SWMM se pueden ver los cambios en el modelo por fecha y unidad de tiempo, Giswater solo devuelve valores de media, máximos y mínimos de los parámetros de todo el periodo de tiempo. Además, el programa facilita la elaboración de distintos tipos de gráficos centrados en un elemento de la red.

Resumiendo, Giswater es un programa que ha demostrado ser una opción más del grupo de opciones de software libre para la gestión de las redes de abastecimiento y saneamiento que cumple bastante de las características que clasifican a un programa como *user friendly* como la accesibilidad, la facilidad de la instalación y actualización, la eficiencia y calidad, a pesar de que para análisis más elaborados precise de programas terceros.

## **6. Bibliografía**

- Adeniran, A. E. and Oyelowo, M. A. (2013) "An EPANET Analysis of Water Distribution Network of the University of Lagos, Nigeria", *Journal of Engineering Research*, 18(2).
- Boletín Oficial de Navarra Número 147 de 4 de diciembre de 1996 (1996) *Aprobación definitiva Ordenanza General*.
- Geem, Z. W. (2006) "Optimal cost design of water distribution networks using harmony search", *Engineering Optimization*, 38(3), pp. 259–277. doi:10.1080/03052150500467430.
- Mairaga.es (2016). Available at: <https://mairaga.es/> (Accessed: February 16, 2016).
- Morelos, R. A. and Hernández, J. R. (2017) "Modelación hidráulica de la red de distribución de agua potable en una ciudad Mexicana EPANET", 4, p. 131. doi:2334-2501.
- Ostfeld, A. (2004) "Reliability analysis of water distribution systems", *Journal of Hydroinformatics*, 6(4), pp. 281–294. doi:10.2166/hydro.2004.0021.
- R.Schmid (2002) *Working papers on water supply an environmental sanitation: Review of modeling software for piped distribution networks*. St. Gallen, Switzerland.
- Rossman, L. (2017) *EPANET 2.0 en Español. Analisis Hidraulico y de Calidad del Agua en Redes de Distribución de Agua. Manual del Usuario*.
- Rossman, L. A., Clark, R. M. and Grayman, W. M. (1995) "MODELING CHLORINE RESIDUALS IN DRINKING-WATER DISTRIBUTION SYSTEMS", *Journal of Environmental Engineering*, 120(4), pp. 803–820. doi:0733-9372/94/0004-0803.
- Sonaje, N. P. and Joshi, M. G. (2015) "A review of modeling and application of water distribution networks (WDN) softwares", *International Journal of Technical Research an Applications*, 3, pp. 174–178. doi:2320-8163.
- US EPA; CDM (2005) *SWMM, Modelo de gestión de aguas pluviales - MANUAL DEL USUARIO*.
- VV.AA. (2019) "Manual de usuario Giswater", pp. 1–213.